

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

# Fixátor

Fixator

Študent:

Michal Šranc

Vedúci bakalárskej práce:

Ing. Oldřich Učeň, Ph.D.

Ostrava 2013

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra výrobních strojů a konstruování

## Zadání bakalářské práce

Student: **Michal Šranc**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2302R010 Konstrukce strojů a zařízení  
Specializace: 21 Konstrukce výrobních strojů a zařízení  
Téma: **Fixátor**  
**Fixator**

### Zásady pro vypracování:

Navrhněte konstrukční řešení externího fixátoru pro léčbu zlomenin prstu v traumatologii. Návrh optimalizujte z hledisky hmotnosti a jednoduché montáže.

### Vypracujte:

1. Technickou zprávu s popisem funkce navrhovaného fixátoru se všemi nezbytnými výpočty.
2. Konstrukční návrh fixátoru.
3. Pevnostní kontrolu důležitých uzlů.
4. Detailní výrobní výkres vybrané součásti.

### Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN 01 6910. *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.  
NĚMČEK, M.: *Řešené příklady z částí a mechanismů strojů*. 2. vydání. Skripta VŠB-TU Ostrava, 2008, ISBN 978-80-248-1782-8.  
Leinveber, J., Řasa, J., Vávra, P. *Strojnické tabulky*. 3. vyd. Praha: Scientia, 1999, 985 s. ISBN 80-7183-164-6.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Oldřich Učeň, Ph.D.**

Datum zadání: 14.12.2012  
Datum odevzdání: 20.05.2013



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář  
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

MIESTOPRÍSAŽNÉ PREHLÁSENIE ŠTUDENTA

"Prehlasujem, že som celú predkladanú bakalársku prácu vrátane príloh vypracoval samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce a uviedol som všetky použité podklady a literatúru."

V Ostrave 20.5.2012

  
.....  
podpis študenta

Prehlasujem, že

- som bol oboznámený s tým, že na moju bakalársku prácu sa plne vzťahuje zákon č. 121/2000 Zb., autorský zákon, najmä § 35 – použitie diela v rámci občianskych a náboženských obradov, v rámci školských predstavení a použitie diela školského a § 60 - školské dielo.
- beriem na vedomie, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (ďalej len "VŠB-TUO") má právo nezárobkovo k svojej vnútornej potrebe bakalársku prácu užiť (§ 35 odst. 3).
- súhlasím s tým, že bakalárska práca bude v elektronickej podobe uložená v Ústrednej knižnici VŠB-TUO k nahliadnutiu a jeden výtlačok bude uložený u vedúceho bakalárskej práce. Súhlasím s tým, že údaje o kvalifikačnej práci budú zverejnené v informačnom systéme VŠB-TUO.
- bolo dohodnuté, že s VŠB-TUO, v prípade záujmu z jej strany, uzavriem licenčnú zmluvu s oprávnením užiť dielo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bolo dohodnuté, že užiť svoje dielo - bakalársku prácu alebo poskytnúť licenciu k jej využitiu môžem len so súhlasom VŠB-TUO, ktorá je oprávnená v takomto prípade odo mňa požadovať primeraný príspevok na úhradu nákladov, ktoré boli VŠB-TUO na vytvorenie diela vynaložené (až do ich skutočnej výšky).
- beriem na vedomie, že odovzdaním svojej práce súhlasím so zverejnením svojej práce podľa zákona č. 111/1998 Zb., o vysokých školách a o zmene a doplnení ďalších zákonov (zákon o vysokých školách), v znení neskorších predpisov, bez ohľadu na výsledok jej obhajoby.

V Ostrave ..... 20.5. 2013 .....

.....  
podpis

Meno a priezvisko autora práce:

Michal Šranc

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Odtoky 6/885  
3601 Martin

## ANOTÁCIA BAKALÁRSKEJ PRÁCE

ŠRANC M. Fixátor: bakalárska práca. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2013, 45 s. Vedúci práce: Učeň, O.

Bakalárska práca sa zaoberá návrhom konštrukčného riešenia externého fixátoru pre liečbu zlomeniny distálneho rádia či prsta v traumatológii. V úvode sú spracované informácie v oblasti aktuálnej ponuky fixátorov týchto zlomenín na českom aj zahraničnom trhu. V kapitole, ktorá sa zaoberá vlastným konštrukčným riešením, bola predstavená varianta riešenia konštrukčných uzlov aj s pomocou CAD systémov. Prioritou návrhu bolo samotné konštrukčné riešenie, jednoduchosť, ergonómia a flexibilná aplikácia na pacienta. Tejto variante predchádzali dve varianty riešenia, ktoré boli z dôvodu obavy z nedostatočného plnenia funkcie zamietnuté. Nasledovali kontrolné výpočty vrátane použitia metódy MKP. Posledným krokom bolo vyhotovenie výkresu vybranej súčasti.

## ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

ŠRANC M. Fixator: bachelor Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2013, 45 p. Thesis head: Učeň, O.

The Bachelor thesis deals with draft design of the external fixator for treatment the fractures of the distal radius or finger in Traumatology. At the beginning are processed the information about the current offers of these fixators on the Czech and foreign market. In the chapter that deals with own design was introduced the variety of alternative solution of the structural node with the help of CAD system. The priority was its own design, its simplicity, ergonomics and the flexible application to patient. This version is followed by two variants of solution which were due to poor performance rejected. These were followed by control calculations including the use of methods MPK. The last step was to create drawing of selected component.

## Obsah

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV .....	7
1. ÚVOD.....	8
1.1. História .....	8
1.2. Delenie fixátorov .....	9
1.2.1. Vnútorový fixátor.....	9
1.2.2. Vonkajší fixátor.....	10
1.3. Základné konštrukčné prvky fixátorov.....	11
2. VÝROBCI ZAOBERAJÚCI SA VÝROBOU VONKAJŠÍCH FIXÁTOROV .....	13
2.1. Firma ProSpon spol. s.r.o. ....	13
2.2. Firma <i>Synthes, Inc.</i> .....	18
2.3. Firma Orthofix ®.....	21
2.4. Firma <i>Stryker</i> ®.....	22
3. ÚPRAVA FIXÁTORA FIRMY <i>Zimmer</i> ™.....	23
3.1. Firma <i>Zimmer</i> ™ .....	23
3.1.1. Fixátor zlomeniny distálneho rádia .....	23
4. VLASTNÝ NÁVRH FIXÁTORU .....	25
4.1. Navrhovaná varianta.....	26
4.2. Jednotlivé navrhované prvky fixátoru .....	27
4.2.1. Telo fixátoru.....	27
4.2.2. Prstový uchopovač .....	27
4.2.3. Excentrická guľička.....	28
4.2.4. Priechodná skrutka M7 x 7 .....	29
5. VÝPOČTOVÁ ČASŤ .....	30
5.1. Osová sila .....	30
5.2. Priechodná skrutka .....	31
5.3. Telo fixátoru .....	32
5.4. Valcové zovretie Kirschnerových drôtov .....	32
5.5. Súčiniteľ bezpečnosti .....	34
6. MKP ANALÝZA .....	35
7. ZÁVER.....	43
8. POUŽITÉ ZDROJE.....	44
ZOZNAM PRÍLOH .....	45

## ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV

$F_0$	Osová sila	[mm]
$M_{UT}$	Uťahovací moment	[Nm]
$M_{TH}$	Moment trenia pod hlavou skrutky	[Nm]
$M_{TZ}$	Moment trenia na závite	[Nm]
$\psi$	Uhol stúpania závitu	[°]
$\phi'$	Redukovaný trecí uhol	[°]
$d_2$	Stredný priemer závitu skrutky	[mm]
$\pi$	Ludolfovo číslo	[-]
$\alpha$	Vrcholový uhol metrického závitu	[°]
$f_{PP}$	Súčiniteľ šmykového trenia (plast – plast)	[-]
$d_S$	Stredný priemer trecej plochy pod hlavou skrutky	[mm]
$P_h$	Stúpanie závitu	[mm]
$f_z$	Súčiniteľ šmykového trenia závitu	[-]
$\sigma_t$	Napätie v ťahu	[MPa]
$S$	Plocha	[mm <sup>2</sup> ]
$d_3$	Malý priemer závitu skrutky	[mm]
$\tau_K$	Napätie v krute	[MPa]
$W_K$	Modul prierezu v krute	[mm <sup>3</sup> ]
$\sigma_{red}$	Redukované napätie	[MPa]
$\tau_S$	Napätie v šmyku	[MPa]
$h$	Výška činných závitov	[mm]
$p_z$	Tlakové napätie na závite	[MPa]
$H_1$	Nosná hĺbka závitu	[mm]
$z$	Počet závitov	[-]
$d$	Priemer závitu	[mm]
$D_1$	Malý priemer závitu matice	[mm]
$P$	Rozteč závitov	[mm]
$D$	Veľký priemer závitu matice	[mm]
$M_{PR\ max}$	Maximálny prenášaný moment	[Nm]
$M_T$	Moment trenia	[Nm]
$F_T$	Trecia sila	[N]
$R$	Reakčná sila od osovej sily $F_0$	[N]
$d_T$	Priemer Kirschnerových drôtov	[mm]
$f'$	Súčiniteľ šmykového trenia pre celistvý náboj	[-]
$k_{PR}$	Súčiniteľ bezpečnosti proti preklzu zverného spojenia	[-]
$f_{OP}$	Súčiniteľ šmykového trenia (ocel – plast)	[-]
$F_{PR\ max}$	Maximálna prenášaná sila	[N]
$p_{VP}$	Tlak na valcových plochách	[MPa]
$l$	Dĺžka zvernej plochy	[mm]
$K_K$	Súčiniteľ bezpečnosti	[-]
$R_{mP}$	Medza pevnosti plastu	[MPa]

---

# 1. ÚVOD

Fixátory sú zdravotnícke pomôcky používané v chirurgii, ortopédii na zafixovanie zlomenín horných/dolných končatín a rôznych častí tela (kĺby, panva, stavce, chrbtica atď.). Používajú sa tiež k stabilizácii mäkkého tkaniva a na predĺženie končatín.

Využívajú sa rôzne typy vonkajších fixátorov vyrobených z rozličných druhov nehrdzavejúcich (chirurgických) ocelí, zliatin a nekovových materiálov. Bežná je chirurgická oceľ a titánové zliatiny, ktoré majú vplyv na nižšiu hmotnosť fixátorov.

Snaha v súčasnej dobe je vyhýbať sa kovovým materiálom v konštrukcii fixátorov a vyrábať fixátory s použitím čo najväčšieho množstva nekovových materiálov, ktoré prepúšťajú röntgenové žiarenie.

## 1.1.História

História fixácie kostí a ošetrovanie zlomenín je rovnako stará ako zlomeniny samotné. Dá sa s istotou tvrdiť, že ani v dávnych dobách ľudia nemali núdzu o vážne poranenia skeletu. Tieto poranenia mohli byť dôsledkom lovu divých zvierat alebo bojov medzi kmeňmi. Spolu s vývojom mysle človeka sa vyvíjal aj spôsob, akým sa poranenia ošetrovali. Najstarším a najprimitívnejším spôsobom bolo použitie dlahy v podobe kusov dreva. Pokrok v imobilizácii zlomenín môžeme objaviť v starom Egypte, kde sa našli dôkazy o použití pevného obväzu a sadry. O viac než tisíc rokov neskôr, v Grécku nastal zlom v oblasti liečenia zlomenín.

**Hippokrates** bol okrem iného aj tvorcom liečenia zlomenín a stabilizácií kostí. Taktiež opísal formu vonkajšej fixácie na dlahe zlomeniny holennej kosti. Prístroj sa skladal z tesne priliehajúcich egyptských kožených krúžkov spojených štyrmi drevenými tyčami zo stromu Cornel. Tento grécky "Otec medicíny" položil základy starostlivosti o ľahké aj ťažké zlomeniny na mnoho storočí dopredu.

**Clayton Parkhill** Denver, Colorado a **Albine Lambotte** Antwerp, Belgicko samostatne vynali moderné chápanie jednostrannej vonkajšej fixácie, v roku 1894 a 1902. Lambotte bol prvý kto začal používať závitové kolíky, avšak jeho zariadenie vyžadovalo počiatočné otvorenie zlomeniny a potom následné umiestnenie fixátora.

V roku 1938, **Raoul Hoffmann** Ženeva, Švajčiarsko, v nadväznosti na prácu ostatných, si uvedomil, že je nevyhnutné zlepšiť vonkajší fixátor, tak aby bol viac klinicky relevantný a použiteľný. Vyvinul techniku založenú na uzavretom vkladaní fixátora. Hoffmannova technika je známa ako prvá aplikácia minimálnej invazívnej ortopedickej chirurgie.

Tieto pokroky zavŕšili použitím röntgenových lúčov, objavených nemeckým fyzikom **Wilhelmom Conradom Röntgenom**, ktorý za tento objav dostal prvú Nobelovu cenu za fyziku. V období druhej svetovej vojny bola vyvinutá osteosyntéza pomocou dlahy a skrutky, čo možno pokladať ako princíp súčasného fixátora.



## 1.2.Delenie fixátorov

Fixátory je možno rozdeliť podľa viacerých faktorov, ktoré sa môžu zakladať na typu prevedenia, použitia, druhu materiálu apod. Dá sa však povedať, že fixátory sa delia na dve základne skupiny:

- *Vnútorne fixátory*
- *Vonkajšie fixátory*

### 1.2.1. Vnútorný fixátor

**Vnútorná fixácia** je operácia v ortopédii, ktorá zahŕňa chirurgické vkladanie implantátov za účelom opravy kosti. Vnútorná fixácia sa datuje do polovice 19. storočia. Vnútorne fixátory môžu byť vyrobené z nehrdzavejúcej ocele alebo titánu.

Vnútorne fixátory zahŕňajú kostné skrutky, kovové doštičky, čapy, tyče, Kirschnerové drôty a intramedulárne zariadenia, napríklad Kuntscherové klinece a intramedulárne klinece používané hlavne vo veterinárstve.

**Otvorená repozícia (zavádzanie) vnútorného fixátoru** zahŕňa vkladanie implantátov, proces hojenia kosti, otvorenú repozíciu alebo nastavenia kosti samotnej. Otvorené zavádzanie sa týka otvorenej operácie nastavenia kosti, čo je nevyhnutné pre niektoré zlomeniny. Vnútorne fixácie sa vzťahujú na fixáciu skrutiek, platničiek, intramedulárnych kostných klinecov, ktoré umožňujú alebo uľahčujú hojenie. Pevná fixácia zabráňuje mikropohybu všetkých línií zlomeniny, aby bolo hojenie čo najrýchlejšie a aby sa zabránilo infekcii. Otvorená repozícia vnútornej fixačnej techniky je často používaná v prípadoch vážnej fraktúry ako triestivých alebo dislokačných zlomenín alebo v prípadoch, kedy sa kosť nehojí správne.

Riziká a komplikácie môžu zahŕňať bakteriálne kolonizácie kosti, infekcie, stuhnutosť a strata rozsahu pohybu, poškodenie svalov, poškodenie nervov a obrnu, artritídu, zápal šliach, chronické bolesti spojené s doskami, skrutkami a kolíkmi.



Obr. 1. Röntgenový snímok vnútornej fixácie [1]

### 1.2.2. Vonkajší fixátor

**Vonkajšie fixácia** je chirurgická liečba používaná k stabilizácii kostí a mäkkých tkanív v určitej vzdialenosti od operovaného zranenia, na ktoré je zameraná. Poskytujú voľný prístup k príslušným kostiam a mäkkým tkanivám pre ich počiatočné hodnotenie a tiež pre sekundárne zásahy potrebné na obnovenie kostnej kontinuity a funkčnosti mäkkých tkanív.

#### Príklady využitia:

1. Stabilizácia závažných otvorených zlomenín
2. Stabilizácia infikovaných „*pakľbov*“
3. Oprava končatín s dĺžkovou nezrovnalosťou
4. Počiatočná stabilizácia mäkkých tkanív a kostí
5. Uzavretá zlomenina s pridruženými závažnými poraneniami mäkkých tkanív
6. Ťažko rozdrvené kosti
7. Dočasné stabilizácia mäkkých tkanív a väzivového poranenia
8. Narušenie panvového kruhu
9. Artrodézia
10. Ligamentotaxis chrbtice
11. Osteotomia



Obr. 2. röntgenový snímok vonkajšieho Fixátoru [1]

#### Metóda použitia:

V tomto druhu obmedzenia, sú otvory vŕtané do zranených oblastí kostí okolo zlomeniny a do otvorov sú zaskrutkované špeciálne skrutky alebo drôty. Mimo tela je tyč alebo zakrivený kus kovu so špeciálnymi spojkami, ktoré sa spoja so skrutkami, tak aby sa vytvorila pevná podpora. Zlomeninu je možné nastaviť v správnom anatomickom usporiadaní úpravou týchto spojok. Vzhľadom k tomu, že skrutky prechádzajú cez kožu, musia byť koža a skrutky riadne očistené, aby sa zabránilo infekcii v mieste operácie.

Inštalácia vonkajšieho fixátoru sa vykonáva na operačnej sále, obvykle v celkovej anestézii. Odstránenie vonkajšieho rámu a skrutiek zvyčajne vyžaduje špeciálne kľúče a môžu byť vykonané bez anestézie.

Vonkajšia fixácia sa tiež používa na predlžovanie končatín. Pacienti s krátkymi končatinami (noha) si ich môžu predĺžiť. Vo väčšine prípadov je stehenná kosť (femur) diagonálne rozrezaná pri chirurgickom zákroku pod celkovou anestéziou. Kolíky alebo vodiče fixátora sú umiestnené na každej strane "umelej zlomeniny" a vonkajší kovový prístroj sa používa na veľmi postupné odtlačovanie oboch strán kostí od seba milimeter po milimetri zo dňa na deň a týždeň po týždni. Kosť postupne narastá do malej medzery vytvorenej touto "rozťahovacou" technikou. Vo väčšine prípadov môže byť potrebné, aby fixovaná zlomenina bola na mieste niekoľko týždňov alebo dokonca mesiacov. Väčšina zlomenín sa lieči 6 až 12 týždňov. Avšak zložité zlomeniny a tam, kde sú problémy s hojením zlomenín môže hojenie trvať dlhšie.



Obr. 3. Príklad vonkajšieho fixátora [1]

### **1.3. Základné konštrukčné prvky fixátorov**

Existujú tri základné konštrukčné prvky fixátorov:

#### Telo fixátorov

- kruhy, objímky, segmenty, spájajúce prvky
- tvoria základnú oporu, cez ktorú sa prenáša zaťaženie, komponenty musia byť tuhé a ľahko zmontovateľné, ale zároveň ľahké

#### Vlastné oporné elementy

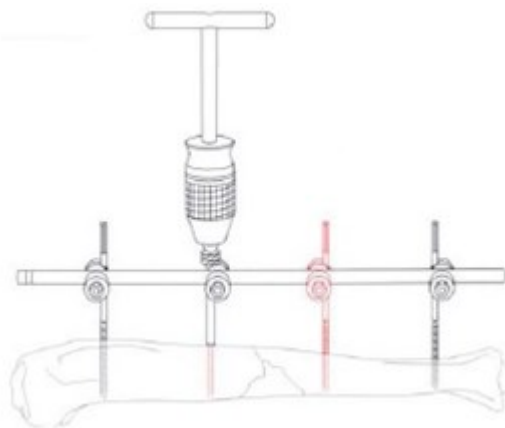
- drôty, klince, skrutky
- vzdialenosť týchto elementov by mala byť minimálna od miesta lomovej plochy kosti

### Držiaky oporných elementov

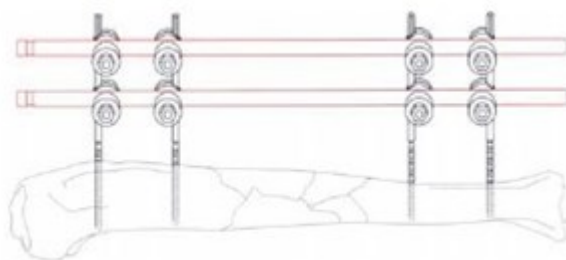
- sú určené na upnutie drôtov (klinec) a na upnutie držiakov ku konštrukcii fixátoru
- vzdialenosť k povrchu končatiny by mala byť čo najkratšia, pretože ohybový moment vzdialenosťou rastie.

### Rámy fixátorov

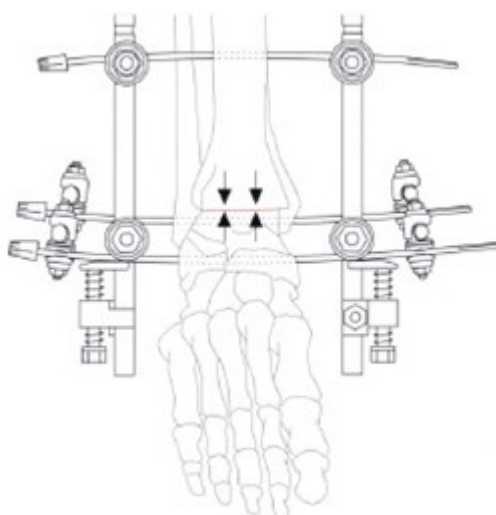
- rámy fixátorov delíme na jednostranné/unilaterálne a obojstranné/ bilaterálne
- na *Obr. 4* je uvedený jednostranný rám s jednotrubkovou konštrukciou pri zavedení Schanzových skrutiek
- na *Obr. 5* jednostranný rám s dvojtrubkovou konštrukciou, ktorá zväčšovať stabilitu zostavy u pacientov s kostnými poruchami alebo trieštivými zlomeninami.
- na *Obr. 6* je zobrazený obojstranný rám.
- existujú aj kruhové fixátory na fixáciu dlhých kostí, *Obr. 7*



Obr. 4. Jednostranný rám s jednotrubkovou konštrukciou [2]



Obr. 5. Jednostranný rám s dvojtrubkovou konštrukciou [2]



Obr. 6. Obojstranný rám [2]



Obr. 7. Kruhový rám [4]

## 2. VÝROBCI ZAOBERAJÚCI SA VÝROBOU VONKAJŠÍCH FIXÁTOROV

### 2.1. Firma ProSpon spol. s r.o.

**ProSpon spol. s r.o.** je česká firma založená v roku 1992. Zaoberáme sa vývojom, výrobou a distribúciou implantátov a nástrojov pre ortopédiu, traumatológiu a chirurgiu. Od svojho založenia sa firma zamerala na externé fixácie, v súčasnosti ponúka aj nástroje a implantáty na rekonštrukciu predného skríženého väzu, spinálne fixátory, onkologické náhrady všetkých veľkých kĺbov a v neposlednom rade úspešnú endoprotézu ramenného kĺbu Sosna. Väčšina distribuovaných produktov je ich výrobkom, na českom trhu zastupuje francúzsku firmu Orthomed (vstrebateľné skrutky na rekonštrukciu ACL), nemeckú firmu Implantcast (náhrady kolien ACS), francúzsku firmu Teknimed (kostný cement) a kórejskú firmu JEIL Medical Corporation (maxilofaciálna chirurgia). Výroba prebieha prevažne v sídle firmy, strojový park tvorí mechanické a CNC obrábacie stroje - sústruhy, frézky a stroj pre elektroerozívne EDM obrábanie. Výrobné oddelenie má 15 zamestnancov a okrem vlastných zdravotníckych pomôcok vyrába aj na zákazku podľa technických výkresov dodaných zákazníkom.



***UNI-FIX: Svorkový modulárny vonkajší fixátor pre fixáciu všetkých dlhých kostí a panvy***

Popis aparátu:

**Vonkajší fixátor UNI-FIX** je určený na vonkajšiu fixáciu zlomenín a pakľbov dlhých kostí, ramennej kosti a panvy dospelých. Pre zlomeniny predlaktia, pre detský skelet a pre fixáciu chrbtice je určený zmenšený, tzv. detský UNI-FIX. Základný model však pokrýva väčšinu traumatologických a ortopedických indikácií. Použité materiály (tvrdo eloxované zliatiny hliníka, antikorózne ocele a titán) zaručujú pri správnom ošetrovaní vysokú úžitkovú hodnotu aj dlhú životnosť aparátu. Aparát sa skladá z tela tvare širokého "U" s výmennými hlavami slúžiacimi na fixáciu skrutiek, ktoré sú zavedené do kosti. **Základných typov hláv** je 6: 1 - hlava priama pevná, 2 - hlava priama výkyvná, 3 - hlava kolmá, 4 - hlava na panvu, 5 - hlava na dvojrovinnou fixáciou, 6 - hlava priestorová. Hlava fixátoru sa pripevní k telu fixátoru.



Obr. 8. Hlavy fixátoru [3]

**Telo vonkajšieho fixátoru** je dodávané v 6 veľkostiach, 3 veľkosti v dospelých variantoch a 3 veľkosti v zmenšenej variante. Pre špeciálne použitie je k dispozícii na objednávku aj štvrtá veľkosť dospelého aparátu - extra krátke telo s rozťahnutím 25 mm. Navyše každé telo umožňuje ešte vložiť jednu alebo obe hlavy "dovnútra" tela tvaru "U", čím je vytvorená plynulá škála veľkostí.

Každé telo je teleskopické. Horizontálne rameno tela je možné umiestniť tak, aby bol uľahčený prístup k operačnej rane alebo aby telo nezatienilo kosť pri RTG vyšetrení, *Obr. 10.*



Obr. 9. Telo fixátoru [3]



Obr. 10. Naklonené telo fixátoru [3]

Kombináciou dvoch hláv s guľovým kĺbom spojených telom fixátoru je umožnená repozície všetkých typov dislokácie, *Obr. 11.*



Obr. 11. Kombinácia dvoch hláv s guľovým kĺbom [3]

**Skrutky** o priemere 6 mm sú samorezné, takže po predvrtanie kosti vrtákom Ø 4,5 mm sú už skrutky ďalej priamo zavádzané do kosti, bez nutnosti rezať závit, či dvojstupňovo predvrtávať kosť. Hlavy fixátoru s vloženými vrtacími puzdrami zároveň vytvárajú vrtáciu šablónu, takže nie je potrebné používať ďalší nástroj na zacielenie. Po odstránení vrtacích puzdier sa aparát nemusí znova nasadzovať, zostáva už nasadený a stačí len utiahnuť príslušné skrutky.



Obr. 12. Skrutky do kosti [3]

***PH-FIX: Stavebnicový vonkajší fixátor pre fixáciu všetkých dlhých kostí a panvy***

Popis aparátu:

**Vonkajší fixátor PH-FIX** je univerzálna stavebnicová súprava určená pre fixáciu skeletu končatín, ktorou možno stabilizovať dlhé kosti pri liečbe otvorených zlomenín, infikovaných pakľbov aj aseptických pakľbov. Rozšírením prvkov je tiež vhodná na nápravu zlomeniny distálneho rádia apod. Je určená aj k predĺženiu končatín. Jej univerzálnosť sa s výhodou uplatní aj pri repozícii a stabilizácii zlomenín panvy.

Základným konštrukčným prvkom súpravy PH-FIX je **jazdec**, ktorý pozostáva z dvoch úpiniek navlečených na čape. Úpinky sú proti sebe otočné a tým umožňujú kľbový pohyb klincov alebo skrutiek proti spojovacej tyči vo všetkých rovinách. Na čape možno úpinky ľubovoľne kombinovať a tak je možné vytvárať aj špecifické konštrukcie na príslušný defekt. Na stranu doštičky, kde nie je stozub musia dosadať matice. Stozuby do seba zapadajú a zabezpečujú, že aj pri ľahkom dotiahnutí matic je spojenie stabilné. Doštičky sú dodávané vo viacerých veľkostiach:

- doštičky pre Ø 8mm - pre karbónové tyče
- doštičky pre Ø 6mm - pre kužeľové skrutky
- doštičky pre Ø 4,5mm - pre Bonellové skrutky
- doštičky pre Ø 7mm - z dôvodu compatibility



Obr. 13. Jazdec fixátoru PH-FIX [3]

Doštičky je možné v jazdcoch akokoľvek kombinovať a nahrádzať podľa potreby, len je potrebné neustále dbať na to, aby nedošlo k upnutiu tyče iného priemeru než pre ktorý je doštička určená - mohlo by dôjsť k deformácii čapu doštičky a prípadne aj k jeho deštrukcii.



**Svorky** umožňujú spojenie tyčí rovnako ako jazdca, odporúča sa ich používať tam, kde nie je kladený tak veľký nárok na pevnosť jedného spojenia. Svorky sú značené číslom pred lomítkom = rozmer doštičky a za šikmou čiarou = priemer otvoru v čape svorky.

Obr. 14. Svorka fixátoru PH-FIX [3]



**Tyče** sú vyrobené buď z karbónu alebo z titánovej zliatiny v priemere 8mm. **U-rámy** sú vyrábané z Ti tyčí o priemere 8mm.



Obr. 15. Tyče fixátoru PH-FIX [3]



Obr. 16. U-rámy fixátoru PH-FIX [3]

Ako **fixačné skrutky** sa dajú použiť štandardné kužeľové skrutky Ø6mm (závit Ø6/5mm), alebo detské kužeľové skrutky Ø6mm (závit Ø4, 5/3, 5mm), alebo Bonellové skrutky Ø4, 5mm so závitom uprostred.



Obr. 17. Bonellové skrutky [3]



Obr. 18. Náprava zlomeniny distálneho rádia pomocou fixátoru PH-FIX [3]

## 2.2. Firma Synthes, Inc.

**Firma Synthes** je popredným svetovým zdravotníckym zariadením. Prostredníctvom svojich piatich produktových skupín vyvíja, vyrába a predáva nástroje, implantáty a biomateriály pre chirurgické fixácie, opravy a regenerácie ľudského skeletu a jeho mäkkých tkanív.

**Firma Synthes** je svetový líder v oblasti traumatológie, patrí medzi prvých dve spoločnosti pre miechové zariadenia. Sú inovatívnym priekopníkom v oblasti biomateriálov ako rozpustných implantátov a kostných štepových náhrad a ponúka širokú škálu náradí, ktoré môžu byť použité samostatne alebo v kombinácii s implantátmi.

**Firma Synthes** stanovuje základy svojho vynikajúceho postavenia na trhu tým, že nepretržite vyvíja a zlepšuje riešenia. Ich cieľom je poskytovať najbezpečnejšie a najmodernejšie implantáty, nástroje a technológie, ktorými zabezpečia spoľahlivé pracovné postupy s rýchlim zotavením a bezbolestným životom po operácii. Zaručuje vysokú kvalitu, neustále inovácie a celkové zameranie na potreby svojich zákazníkov.

### *Fixátor na zlomeniny distálneho rádia*

Firma Synthes vyrába fixátor na zlomeniny distálneho rádia. Ide o jednoduchý, ale komplexný fixátor. Má nízku hmotnosť, skladá sa len z niekoľkých komponentov a ponúka kompatibilitu s viacerými vonkajšími fixátormi.



Obr. 19. Fixátor distálneho rádia [4]

### Flexibilný systém:

- fixátor je možné prispôbiť požiadavkám operátora a konkrétnej anatómii pacienta
- svorky, karbónové tyče aj titánové implantáty zaisťujú bezpečnú a stabilnú fixáciu pri nízkej hmotnosti fixátora

### Rýchla a jednoduchá montáž

- jednoduché a rýchle zostavenie fixátoru vďaka prehľadne usporiadanému inštrumentáriu
- Schanzové skrutky a karbónové tyče sú svorkou fixované individuálne a dovoľujú tak sekundárne repozíciu vo všetkých rovinách

### Použitie:

- nestabilná zlomenina distálneho rádia
- dočasná fixácia pred otvorenou repozíciou a vnútornou fixáciou
- zlomeniny s otvoreným a uzavretým poškodením mäkkých tkanív
- rozsiahle poranenia mäkkých tkanív
- úbytok kostnej hmoty
- cievne a nervové zapojenie

### Zranenia, zlomeniny, dislokácie v oblasti:

- ruka
- zápästie
- predlaktie

### Svorka:

- bezpečnosť pri magnetickej rezonancii
- prispôsobiteľné nastavenia pomocou veľkých šesťhranných skrutiek
- vysoká pevnosť, ľahká zliatina titánu
- vhodné pre zhadzovacie Schanzové skrutky 4,0 mm – 4.0/2.5 mm.



Obr. 20. Svorka [4]

Priama karbónová tyč, Ø 4,0 mm:

- pre rozličné konfigurácie fixátoru
- bezpečné použitie pri zobrazovaní pomocou magnetickej rezonancie
- perfektná vizualizácia zlomeniny pri použití RTG



Obr. 21. Priama karbónová tyč [4]

Samovrtné Schanzové skrutky Seldrill:

- stabilnejšie ukotvenie v kosti vďaka radiálnemu predpätiu
- ľahké zavedenie Schanzových skrutiek šetrí čas
- k dispozícii sú z ocele alebo titánu
- samovrtná špička skrutky pre jednoduché a rýchle zavedenie Schanzových skrutiek
- optimálny tvar špičky obmedzuje riziko tepelnej nekrózy pri zavádzaní
- k dispozícii sú z titánu alebo ocele
- široký sortiment skrutiek pre vonkajšie fixátor pre distálny rádius: priemery 4,0/2,5 mm, 4,0/3,0 mm alebo 4,0 mm



Obr. 22. Samovrtné Schanzové skrutky [4]

Kirschnerové drôty:

- pre ďalšie alternatívne použitie
- z titánovej zliatiny alebo ocele
- doporučené priemery sú 1,8; 2,0 a 2,5 mm



Obr. 23. Kirschnerové drôty [4]

## 2.3.Firma Orthofix ®

**Firma Orthofix** je diverzifikovaná, globálna zdravotnícka spoločnosť zameraná na vývoj a poskytovanie inovatívnych opráv a regeneračného riešenia chrbtice a ortopédie.

**Firma Orthofix** si zaslúžila uznanie kvôli inovatívnym riešeniam pri liečbe poranení chrbtice. Ponúkajú inovatívne možnosti liečby pre dospelých a detské deformačné korekcie, vnútorné a vonkajšie fixácie zlomenín.

### *Fixátor na zlomeniny distálneho rádia*

RTG transparentný fixátor je navrhnutý pre rýchlu aplikáciu bez obmedzovania chirurgických možností. Kompletný systém a všetky nástroje sú súčasťou súpravy sterilne balené. Guľové kĺby dovoľujú manévrovateľnosť. Výhodou je nízka hmotnosť, nízko profilový rám pre lepšiu prijatie pacientom a celá súprava aj s nástrojmi je v sterilnom balení.

#### Výhody zo strany lekára:

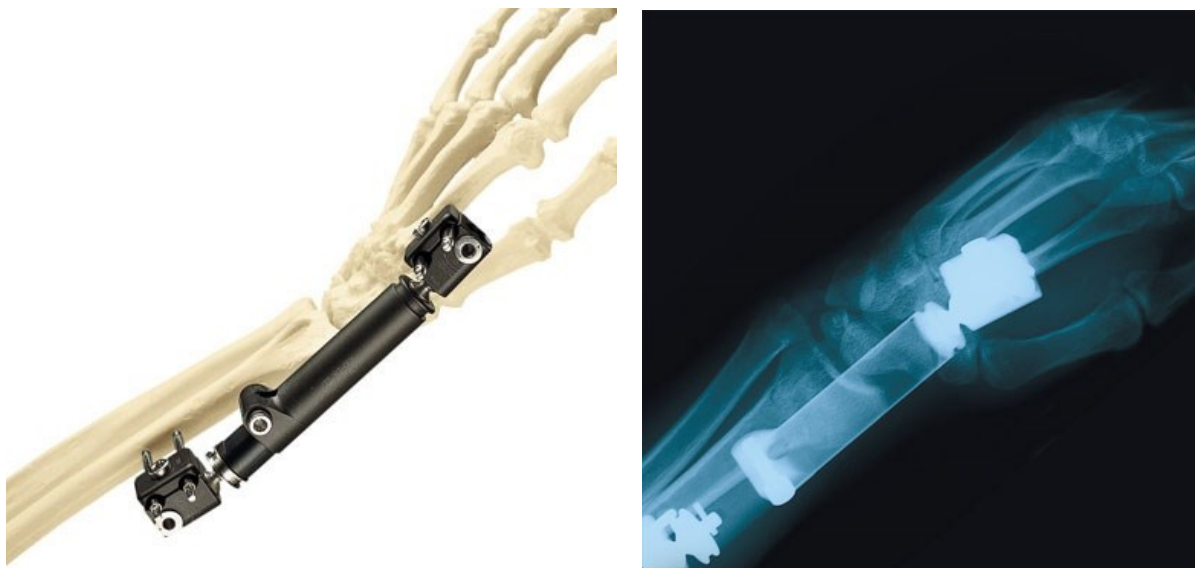
- Ľahký, nízky profil rámu pre lepšiu manévrovateľnosť pri operácii
- Vynikajúca Biomechanika
- Fixátor je ľahko balený s inštrumentáciami v sterilnej súprave
- vizualizácia zlomeniny pri použití RTG

#### Výhody zo strany pacienta:

- Ľahký, nízky profil rámu pre lepšie prijatie tela pacienta



Obr. 24. Časti RTG fixátor zápästia [5]



Obr. 25. RTG fixátor zápästia [5]

## 2.4. Firma *Stryker* ®

**Firma Stryker** je jedným z popredných svetových zdravotníckych technologických spoločností a venuje sa pomoci zdravotníkom plniť svoje pracovné povinnosti efektívnejšie a zároveň podporuje starostlivosť o pacientov. Spoločnosť ponúka rozmanitú škálu inovatívnych zdravotníckych technológií, vrátane rekonštrukčnej, lekárskej, chirurgickej a neurotechnologie, aby pomohla ľuďom viesť viac aktívne životy.

**Firma Stryker** posúva hranice lekárskeho výskumu a pomocou klinickej integrity zlepšiť život pacientov na celom svete. Firma Stryker je dôveryhodný partner, ktorý pracuje s tisíckami lekárov, a stavia na osvedčených postupoch.

### *Jednoplášťový vonkajší fixačný systém Triax*

Jednoplášťový vonkajší fixačný systém Triax ponúka komplexné chirurgické riešenie, s multirovinným pohybom zápästia pre neobmedzenú manipuláciu zlomeniny, zatiaľ čo fixátor je na mieste.

Systém pomáha poskytovať úplnú kontrolu nad zlomeninou a úpravy so zložitejšími fixátormi v jednoduchom, chirurgickom zariadení.

#### Vlastnosti a výhody:

- jednoplášťové rúrky z uhlíkových vlákien poskytujú dobrú stabilitu a vizualizáciu zlomenín pod röntgenom.
- dobrá manipulácia a jednoduché použitie
- modulárne komponenty rámu umožňujú nezávislé umiestnenie a umožňujú chirurgovi stavať rám okolo lomu
- dobré multirovinné ovládanie.



Obr. 26. Jednoplášťový vonkajší fixačný systém Triax [6]

### 3. ÚPRAVA FIXÁTORA FIRMY *Zimmer*<sup>TM</sup>

#### 3.1. Firma *Zimmer*<sup>TM</sup>

Firma **Zimmer** je popredná svetová spoločnosť v odbore muskuloskeletálnej zdravotnej starostlivosti a to už od svojho založenia pred viac ako 80 rokmi.

Úlohou firmy **Zimmer** je poskytovať účinné tvorivé riešenia na podporu ortopedických chirurgov pri obnove mobility a liečiť artritídu a úrazy. Ich technológia náhrady kĺbov a široký sortiment súvisiacich produktov a služieb z nich robí hodnotných partnerov a poskytovateľov zdravotnej starostlivosti vo viac ako stovke krajín.

Spoločnosť **Zimmer** disponuje vedeckými kapacitami a zdrojmi svetovej úrovne a spolupracuje s najlepšimi klinickými a výskumnými pracovníkmi na svete. Spolu s poskytovateľmi zdravotnej starostlivosti hľadajú najlepšie technológie a liečebné metódy na zabezpečenie najkvalitnejšej a nákladovo efektívnej ortopedickej starostlivosti.

##### 3.1.1. Fixátor zlomeniny distálneho rádia

###### Dizajn fixátoru:

Jedným z hlavných cieľov návrhu bolo spájať výhody zariadenia s jednoduchosťou použitia. Fixátor je určený pre vonkajšiu fixáciu hornej končatiny. Okrem toho, že stabilne fixuje zlomeninu cez kĺb je navrhnutý tak, že systém zachytáva a stabilizuje distálne radiálne fragmenty. Konštrukcia je určená na zlepšenie hojenia tým, že poskytuje lepšiu stabilitu lomových fragmentov blízko kĺbu. To umožňuje včasný pohyb zápästia, aby sa zabránilo "zmrazeniu" kĺbu a následnej straty rozsahu pohybu v dôsledku mäkkého tkaniva.



Materiál fixátoru:

Telo fixátoru, všetky pomocné komponenty a uchytenia drôtov/kĺbov sú vyrobené z tvarovateľného polyméru vysokej pevnosti. To má za následok úplnú vizualizáciu RTG snímku kĺbu, zlomeniny a umiestnenia kolíkov a Kirschnerových drôtov. Tento materiál bol tiež vybraný pre svoju svetlú hmotnosť a poskytuje viac pohodlia pre pacienta.



Fixátor poskytuje extra fixáciu zápästia a zvýšenú stabilitu tým, že umožňuje integrovať Kirschnerové drôty fixátoru priamu do kosti. Tieto drôty fixátoru umožňujú používať zariadenie u pacientov s komplexnými zlomeninami zápästia.

Obr. 27. Fixátor zlomeniny distálneho rádia [7]

Zavedené drôty pomáhajú stabilizovať zlomeniny a ponúkajú možnosť predčasného rehabilitačného pohybu zápästia. Tento prechod sa môže objaviť v priebehu niekoľkých týždňov po prvej operácii.

Chirurgické balenie obsahuje všetky implantáty a jednorazové nástroje v jednom praktickom balení, čo eliminuje potrebu pre sterilizáciu. Štandardný vrták je vyžadovaný na žiadosť spolu s Kirschnerovými drôtmí.



Obr. 28. Fixátor zlomeniny distálneho rádia [7]



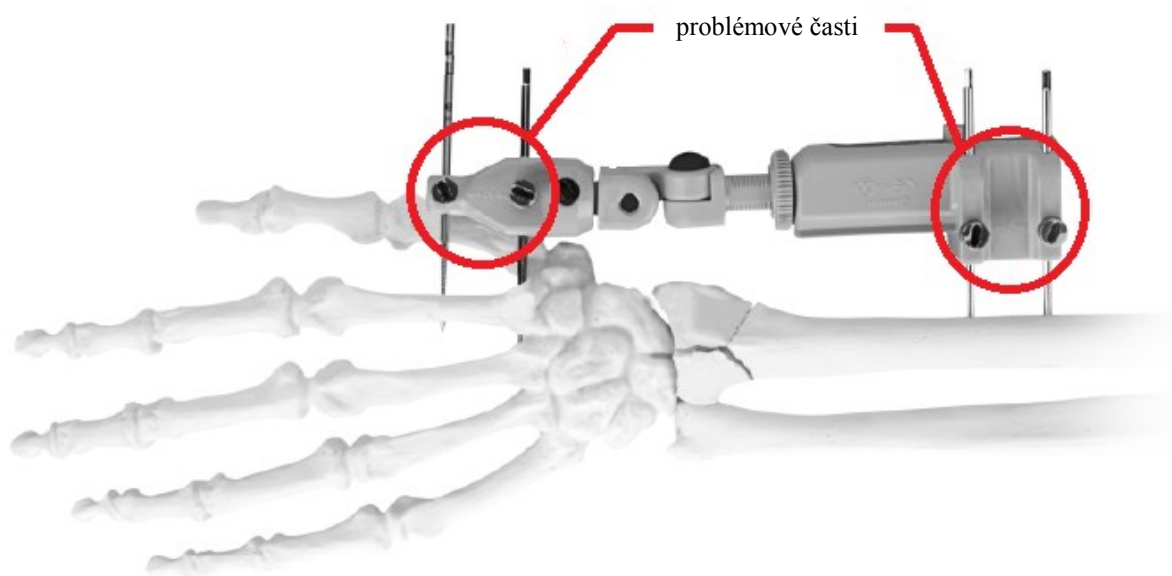
## 4. VLASTNÝ NÁVRH FIXÁTORU

### Požiadavky na konštrukciu:

Aj keď fixátor ako taký je zdravotnícka pomôcka konštruovaná hlavne pre pacientov, tou ozajstnou cieľovou skupinou ľudí, ktorým sú fixátory obzvlášť určené, sú lekári. Práve lekárom, ktorí v tomto prípade zachraňujú plnohodnotný život poraneným ľuďom, majú špecifické požiadavky na konštrukciu fixátorov. Z pevnostného hľadiska je najdôležitejšou podmienkou, aby fixátor zvládol preniesť všetku silu, ktorá by mohla pôsobiť na poranené miesto. Je nevyhnutné, aby na jednotlivé fragmenty zlomenej kosti nepôsobili nepriaznivé sily a znemožňovali tak hojenie.

Ďalším dôležitým hľadiskom je maximálna röntgenová transparentnosť, ktorá je vyžadovaná vzhľadom na určovanie diagnózy prostredníctvom röntgenových snímkov. To znamená použitie plastických hmôt, uhlíkových vlákien, apod. Časti z kovu je možné použiť len v nevyhnutných prípadoch, kedy sa nedá použiť iné riešenie.

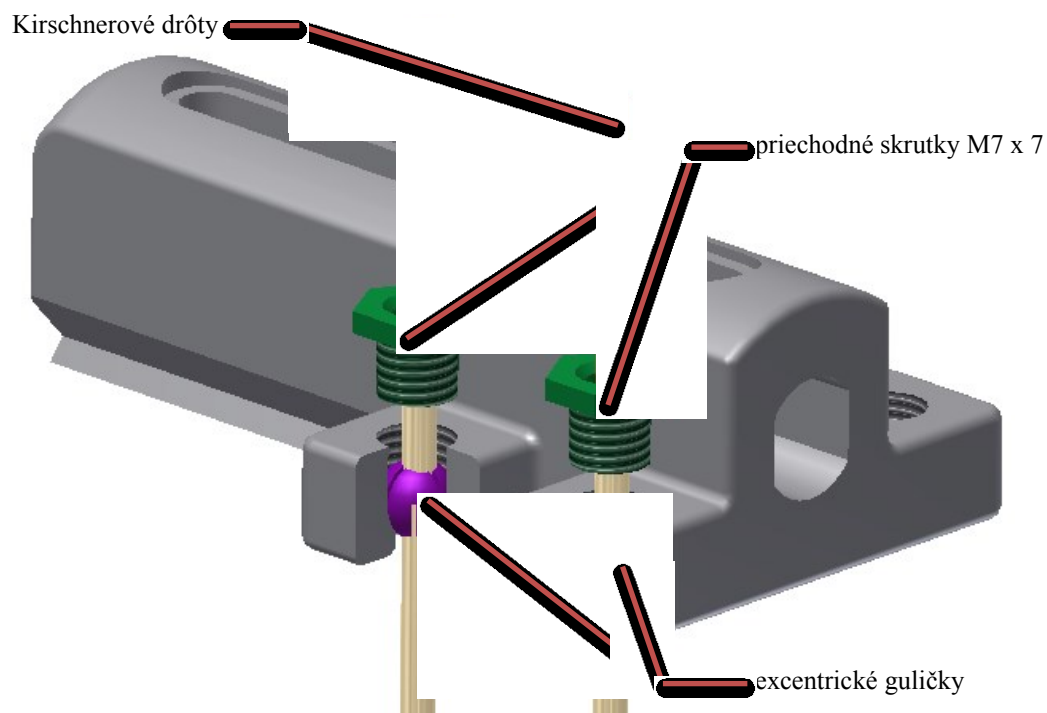
Problémovým aspektom fixátoru zlomeniny distálneho rádia firmy Zimmer™ je zlá manévrovateľnosť Kirschnerových drôtov s čím je spojená obtiažnosť trafenia predvŕtaných dier v kosti pri umiestňovaní tela fixátoru na ruku pacienta.



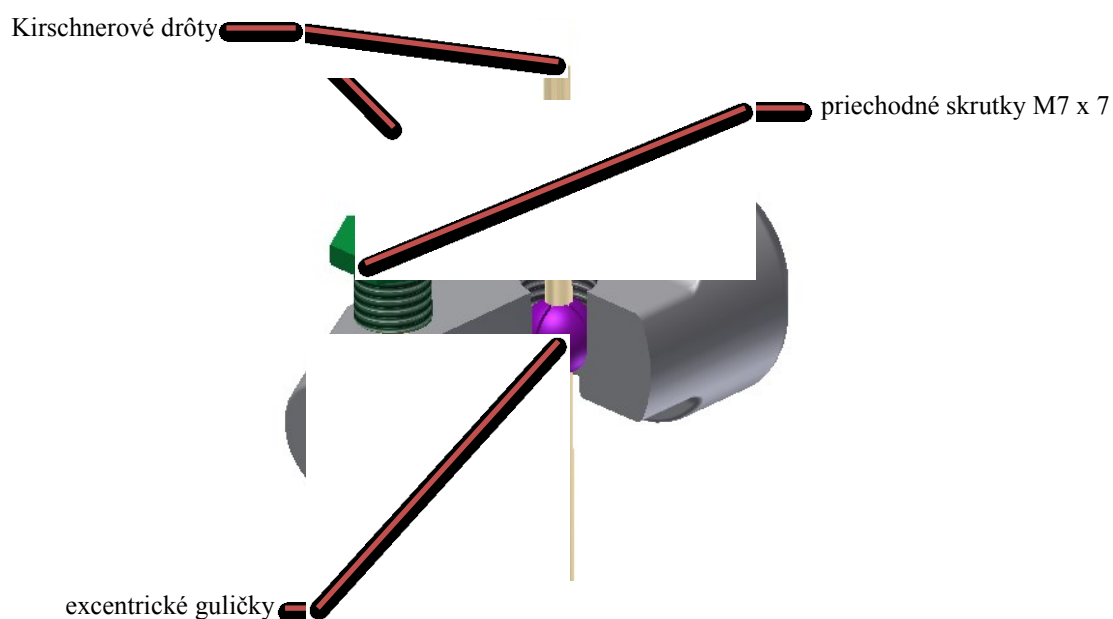
Obr. 29. Pôvodné riešenie [7]

#### 4.1.Navrhovaná varianta

Na Obr. 30 a Obr. 31 je navrhovaná varianta s použitím excentrickej guľičky a priechodnou skrutkou s vonkajším šesťhranom. Je zvolené zverné spojenie. Princíp spočíva v uťahovaní skrutky a tým dochádza k zovretiu jednej súčasti v druhej. Jeho aplikácia je teda rýchla a montáž je veľmi jednoduchá.



Obr. 30. Finálna varianta tela fixátoru



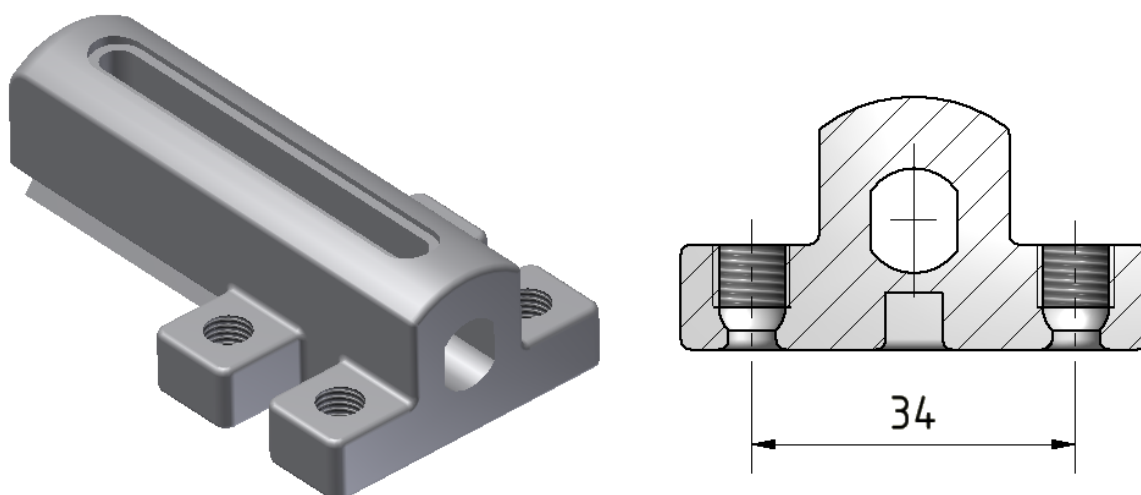
Obr. 31. Finálna varianta prstového uchopovača

## 4.2. Jednotlivé navrhované prvky fixátoru

### 4.2.1. Telo fixátoru

Museli byť vykonané konštrukčné zmeny, hlavne kvôli uchyteniu excentrických guľičiek resp. Kirschnerových drôtov. Bolo nutné posunúť diery pre Kirschnerové drôty o 15 mm z pôvodných 19 mm na 34 mm. Ostatné rozmery rozmiestnenia dier boli zachované.

- Materiál: Polymérový plast PEEK 600PF



Obr. 32. Telo fixátoru

### 4.2.2. Prstový uchopovač

V tomto prípade museli byť taktiež vykonané konštrukčné zmeny, kvôli uchyteniu excentrických guľičiek, avšak rozmiestnenie otvorov Kirschnerových drôtov vzhľadom k otvoru pre uchytenie prstového uchopovača ostalo pôvodné.

- Materiál: Polymérový plast PEEK 600PF



Obr. 33. Prstový uchopovač

### 4.2.3. Excentrická guľička

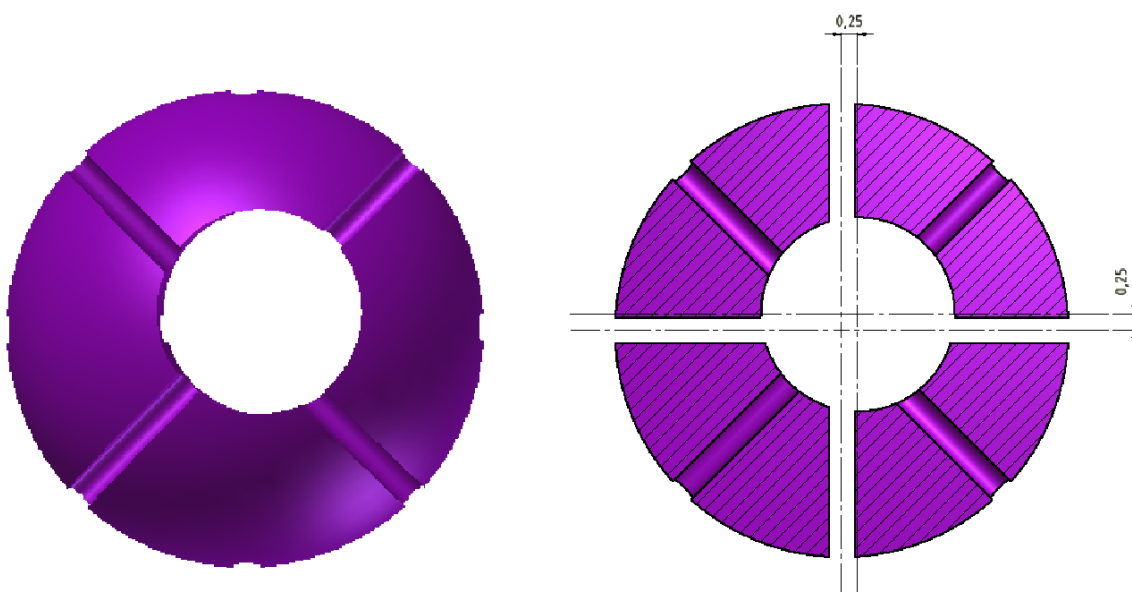
Excentrická guľička slúži na:

- zovretie Kirschnerových drôtov
- umožňuje ich posuv vo vertikálnej úrovni
- malé natáčanie o cca 6° uhol
- vďaka tomu, že vnútorný otvor guľičky nie je presne v strede, ale je excentricky posunutý v dvoch navzájom kolmých osách, umožňuje malý, ale dostatočný horizontálny pohyb

➤ Materiál: Polymérový plast PEEK 600PF



Obr. 34. Excentrická guľička

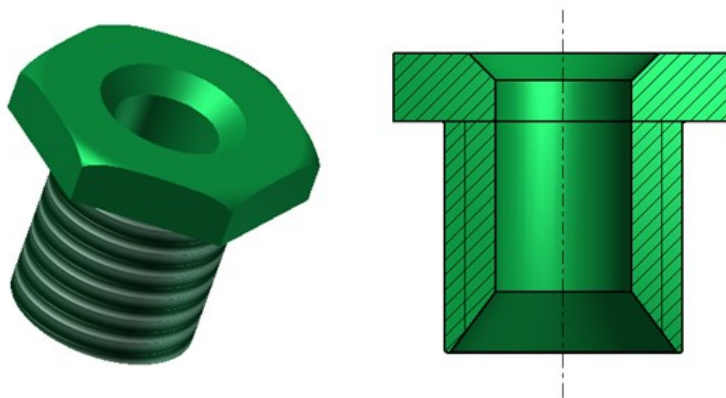


Obr. 35. Posunutie vnútorného priemeru excentrickej guľičky

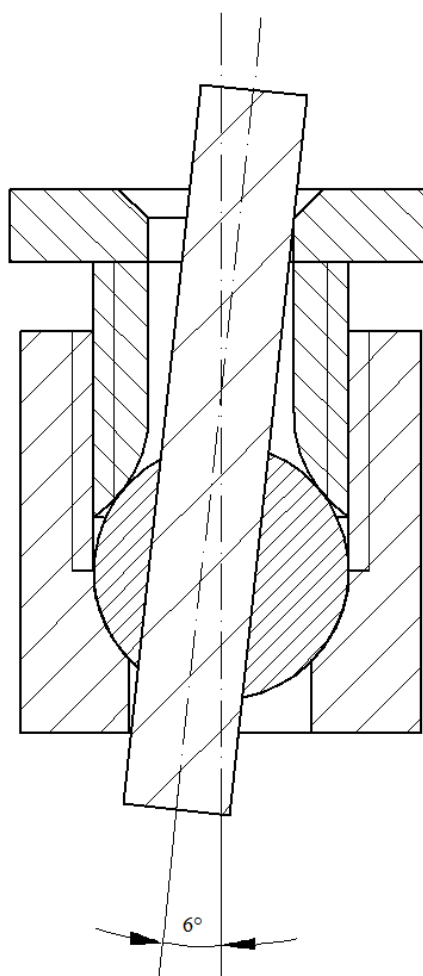
#### 4.2.4. Priechodná skrutka M7 x 7

Skrutka slúži na stlačenie excentrickej guľičky a na vyvodenie dostatočnej zvernej sily, ktorou následne guľička zovrie Kirschnerové drôty. Skrutka je konštruovaná, tak že dovoľí naklápanie guľičky o  $6^\circ$  okolo zvislej osi.

- Materiál: Polymérový plast PEEK 600PF



Obr. 36. Skrutka M7 x 7



Obr. 37. Naklápanie Kirschnerového drôtu

## 5. VÝPOČTOVÁ ČASŤ

K všetkým výpočtom boli použité vzťahy zo skrípt pána docenta Kalába [9]. Rozhodujúcim parametrom pre výpočty je ťahovací moment, ktorým sa ťahujú skrutky, ktoré vedú do kosti. Priemerný ťahovací moment pre utiahnutie skrutiek je 8 Nm, ale kvôli optimalizácii pevnosti celého fixátoru volím ťahovací moment 3 Nm [10].

### 5.1. Osová sila

Osovú silu  $F_0$  určí z rovnice ťahovacieho momentu  $M_{UT}$ , ktorý musí prekonať trenie na závitě  $M_{TZ}$  a trenie pod hlavou skrutky  $M_{TH}$ :

$$M_{UT} = M_{TZ} + M_{TH} \quad (1)$$

$$M_{TZ} = F_0 \cdot \operatorname{tg}(\psi + \varphi') \cdot \frac{d_2}{2} \quad (2)$$

$$\psi = \operatorname{arctg}\left(\frac{P_h}{\pi \cdot d_2}\right) \quad (3)$$

$$\psi = \operatorname{arctg}\left(\frac{0,5}{\pi \cdot 6,675}\right) = \underline{\underline{1,366^\circ}}$$

$$\varphi' = \operatorname{arctg}\left(\frac{f_z}{\cos \frac{\alpha}{2}}\right) \quad (4)$$

$$\varphi' = \operatorname{arctg}\left(\frac{0,15}{\cos \frac{60}{2}}\right) = \underline{\underline{9,826^\circ}}$$

$$M_{TH} = F_0 \cdot f_{PP} \cdot \frac{d_S}{2} \quad (5)$$

Kde:

$\Psi$	Uhol stúpania závitě	[°]
$\varphi'$	Redukovaný trecí uhol	[°]
$d_2$	Stredný priemer závitě skrutky	6,675 [mm]
$\alpha$	Vrcholový uhol metrického závitě	60 [°]
$f_{PP}$	Súčiniteľ šmykového trenia (plast – plast) [8]	0,3 [-]
$d_S$	Stredný priemer trecej plochy pod hlavou skrutky	6 [mm]
$P_h$	Stúpanie závitě	0,5 [mm]
$f_z$	Súčiniteľ šmykového trenia závitě [8]	0,15 [-]

Dosadením vzťahov do rovnice (1) dostanem:

$$F_0 = \frac{M_{UT}}{\operatorname{tg}(\psi + \varphi') \cdot \frac{d_2}{2} + f_{PP} \cdot \frac{d_S}{2}} \quad (6)$$

$$F_0 = \frac{3000}{\operatorname{tg}(1,366 + 9,826) \cdot \frac{6,675}{2} + 0,3 \cdot \frac{6}{2}} = \underline{\underline{1922,635 \text{ N}}}$$

## 5.2. Priechodná skrutka

*Napätie v ťahu:*

$$\sigma_t = \frac{F_0}{S} = \frac{F_0}{\pi \cdot \left(\frac{d_3}{2}\right)^2} \quad (7)$$

$$\sigma_t = \frac{1922,635}{\pi \cdot \left(\frac{6,387}{2}\right)^2} = \underline{\underline{60,009 \text{ MPa}}}$$

Kde:

$$d_3 \quad \text{Malý priemer závitu skrutky} \quad 6,387 \text{ [mm]}$$

*Napätie v krute:*

$$\tau_K = \frac{M_{TZ}}{W_K} = \frac{F_0 \cdot \operatorname{tg}(\psi + \varphi') \cdot \frac{d_2}{2}}{\frac{\pi}{16} \cdot d_3^3} \quad (8)$$

$$\tau_K = \frac{1922,635 \cdot \operatorname{tg}(1,366 + 9,826) \cdot \frac{6,675}{2}}{\frac{\pi}{16} \cdot 6,387^3} = \underline{\underline{24,817 \text{ MPa}}}$$

Kde:

$$\begin{array}{ll} M_{TZ} & \text{Moment trenia na závit} & [\text{Nm}] \\ W_K & \text{Modul prierezu v krute} & [\text{mm}^3] \end{array}$$

*Redukované napätie:*

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_t^2 + 4 \cdot \tau_K^2} \quad (9)$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{60,009^2 + 4 \cdot 24,817^2} = \underline{\underline{77,876 \text{ MPa}}}$$

*Napätie v šmyku:*

$$\tau_s = \frac{F_0}{\pi \cdot d_3 \cdot h} \quad (10)$$

$$\tau_s = \frac{1922,635}{\pi \cdot 6,387 \cdot 5,093} = \underline{\underline{18,84 \text{ MPa}}}$$

Kde:

$$h \quad \text{Výška činných závitov} \quad 5,093 \text{ [mm]}$$

### 5.3. Telo fixátoru

Telo fixátoru predstavuje akúsi tvarovú maticu pre priechodnú skrutku.

*Tlakové napätie na závite:*

$$p_z = \frac{F_0}{\pi \cdot d_2 \cdot H_1 \cdot z} \quad (11)$$

$$H_1 = \frac{d - D_1}{2} = \frac{7 - 6,459}{2} = \underline{\underline{0,271 \text{ mm}}} \quad (12)$$

$$z = \frac{h}{P} = \frac{5,093}{0,5} = \underline{\underline{10,186 \text{ mm}}} \quad (13)$$

$$p_z = \frac{1922,635}{\pi \cdot 6,675 \cdot 0,271 \cdot 10,186} = \underline{\underline{33,214 \text{ MPa}}}$$

Kde:

$d$	Priemer závitu	7	[mm]
$D_1$	Malý priemer závitu matice	6,459	[mm]
$P$	Rozteč závitov	0,500	[mm]

*Napätie v šmyku:*

$$\tau_s = \frac{F_0}{\pi \cdot D \cdot h} \quad (14)$$

$$\tau_s = \frac{1922,635}{\pi \cdot 7 \cdot 5,093} = \underline{\underline{17,166 \text{ MPa}}}$$

Kde:

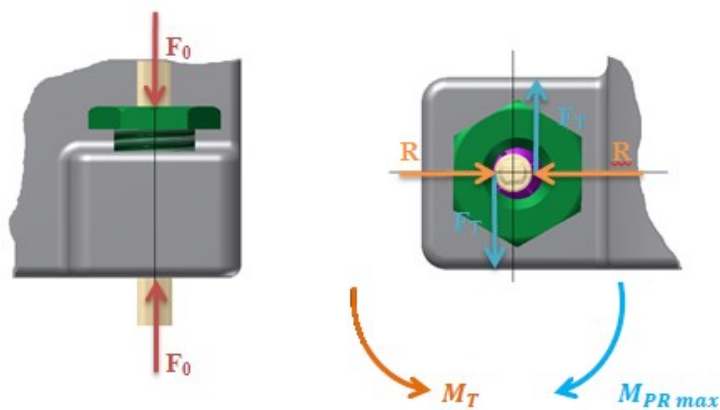
$D$	Veľký priemer závitu matice	7	[mm]
-----	-----------------------------	---	------

### 5.4. Valcové zovretie Kirschnerových drôtov

*Maximálny prenášaný moment:*

Na Obr. 38 je znázornený max. prenášaný moment  $M_{PR \text{ max}}$ , sily na valcových plochách a trecie sily na Kirschnerových drôtoch. Výpočet sa týka Kirschnerových drôtov veľkosti 3mm. Týmto istým spôsobom a pomocou rovnakých vzorcov sa prevedie výpočet aj pre Kirschnerové drôty veľkosti 2,5mm.





Obr. 38. Znáznornenie pôsobiacich síl a momentov na valcových plochách

$$M_{PR \max} \leq M_T \quad (15)$$

$$M_{PR \max} \cdot k_{PR} \leq F_T \cdot d_T \quad (16)$$

$$M_{PR \max} \cdot k_{PR} \leq R \cdot f' \cdot d_T$$

$$f' = \frac{\pi}{2} \cdot f_{OP} = \frac{\pi}{2} \cdot 0,25 = \underline{\underline{0,392 [-]}} \quad (17)$$

$$R = F_0 \quad (18)$$

$$M_{PR \max} \leq \frac{R \cdot \pi \cdot f' \cdot d_T}{2 \cdot k_{PR}}$$

$$M_{PR \max} \leq \frac{1922,635 \cdot \pi \cdot 0,392 \cdot 3}{2 \cdot 1,3} = 2732 \text{ Nmm} = \underline{\underline{2,7 \text{ Nm}}}$$

Kde:

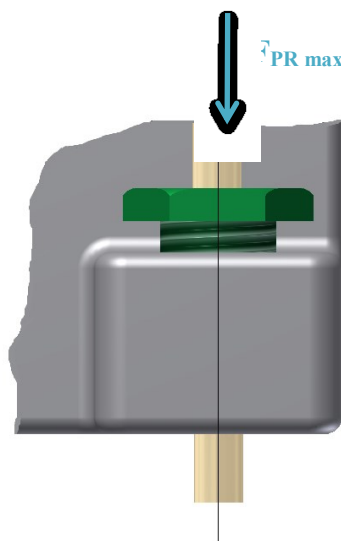
$d_T$  Priemer Kirschnerových drôtov 3 [mm]

$f'$  Súčiniteľ šmykového trenia pre celistvý náboj [-]

$k_{PR}$  Súčiniteľ bezpečnosti proti preklzu zverného spojenia 1,3 [-]

$f_{OP}$  Súčiniteľ šmykového trenia (ocel – plast) [8] 0,25[-]

Maximálna prenášaná sila:



Obr. 39. Sila na valcových plochách

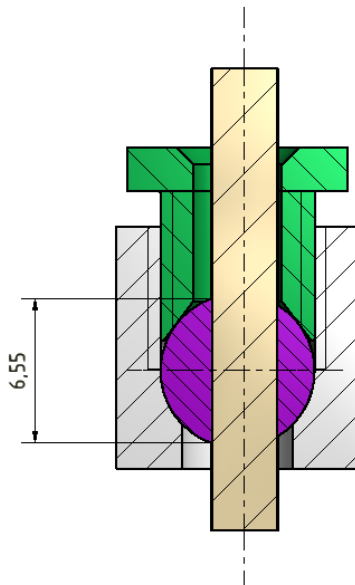
$$F_{PR\ max} \leq F_T \quad (19)$$

$$F_{PR\ max} \leq R \cdot f'$$

$$R = F_0$$

$$F_{PR\ max} \leq 1922,635 \cdot 0,392 = \underline{\underline{753,672\ N}}$$

*Tlak na valcových plochách:*



Obr. 40. Dĺžka zvernej valcovej plochy

$$p_{VP} = \frac{F_0}{d_T \cdot l} \quad (20)$$

$$p_{VP} = \frac{1922,635}{3 \cdot 6,55} = \underline{\underline{97,844\ MPa}}$$

Kde:

$$l \quad \text{Dĺžka zvernej plochy} \quad 6,480 \text{ [mm]}$$

## 5.5. Súčiniteľ bezpečnosti

Na záver bol určený koeficient bezpečnosti pre použitý materiál v mieste najväčšieho napätia. Výsledok je vyhovujúci, fixátor teda pevnostne vyhovuje.

### Polymérový plast PEEK 600PF

$$K_K = \frac{R_{mP}}{p_{VP}} \quad (21)$$

$$K_K = \frac{227,5}{97,844} = \underline{\underline{2,3 \text{ [-]}}}$$

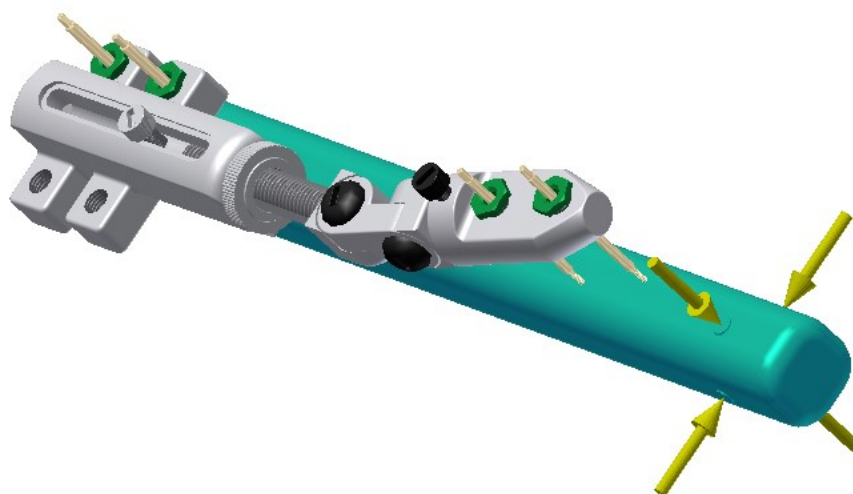
Kde:

$$R_{mP} \quad \text{Medza pevnosti plastu [11]} \quad 227,500 \quad \text{[MPa]}$$

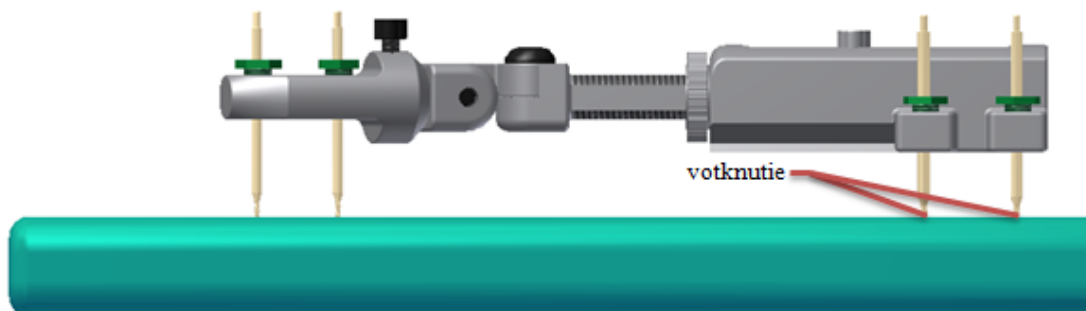
## 6. MKP ANALÝZA

Cieľom úlohy je pevnostná kontrola fixátoru zlomeniny distálneho rádia pomocou MKP analýzy. Fixátory ako také sú zdravotnícke pomôcky, ktorých hlavnou úlohou je zafixovanie a stabilizácia zlomeniny. To znamená, že fixátor musí absorbovať všetky nárazy, neprenášať ich do poraneného miesta a zaistiť tak správne a pokojné hojenie postihnutého miesta. Keďže tento fixátor sa v praxi používa a najväčšie napätie absorbujú Kirschnerové drôty, ktoré sú vyrobené z pevnej nerezovej ocele alebo titánu, čiže tomuto zaťaženiu odolajú a celý fixátor pevnostne vyhovuje, moja pevnostná analýza bude simulovať a poukazovať na nebezpečné nárazy ruky, ktorým sa musí pacient vyvarovať. Zároveň môže slúžiť doktorom na upozornenie pacientov, aby si dali pozor na tieto nárazy ruky, ktoré sú pre ďalšie hojenie postihnutého miesta veľmi nebezpečné.

Pevná väzba (votknutie) bola aplikovaná na funkčné časti koncov dvoch Kirschnerových drôtov. Zaťaženie malo v každom prípade iný smer, ale rovnakú hodnotu, ktorá bola 10N. Pôsobisko bolo vždy na konci kosti. Boli použité dotyky, ktoré simulovali treciu väzbu (posouvání/bez oddělení). Pre zjednodušenie výpočtu bola použitá súčasť, ktorá simulovala ľudskú kosť namiesto celej kostry ruky. Vzhľadom k veľkým napäťovým rozdielom, bola vykonaná úprava farieb a horné napätie nastavené na 5 MPa.

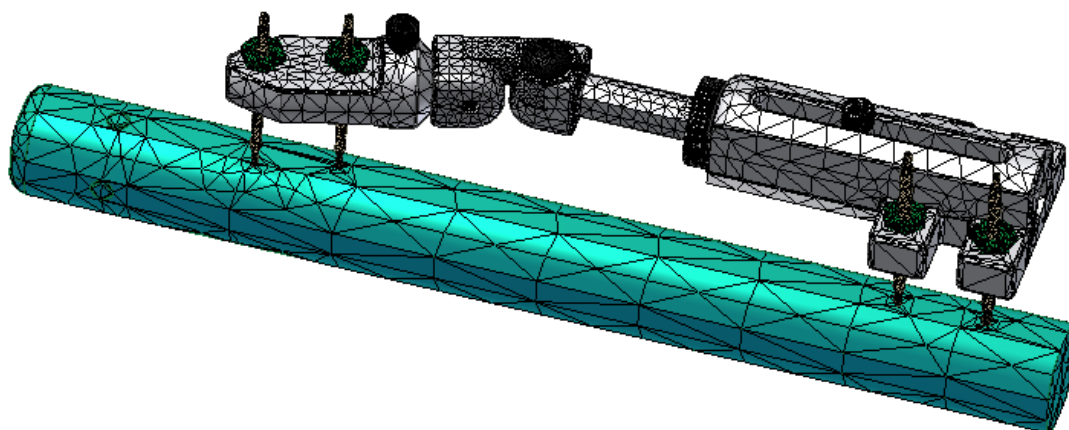


Obr. 41. Zaťaženie fixátoru



Obr. 42. Votknuté Kirschnerové drôty

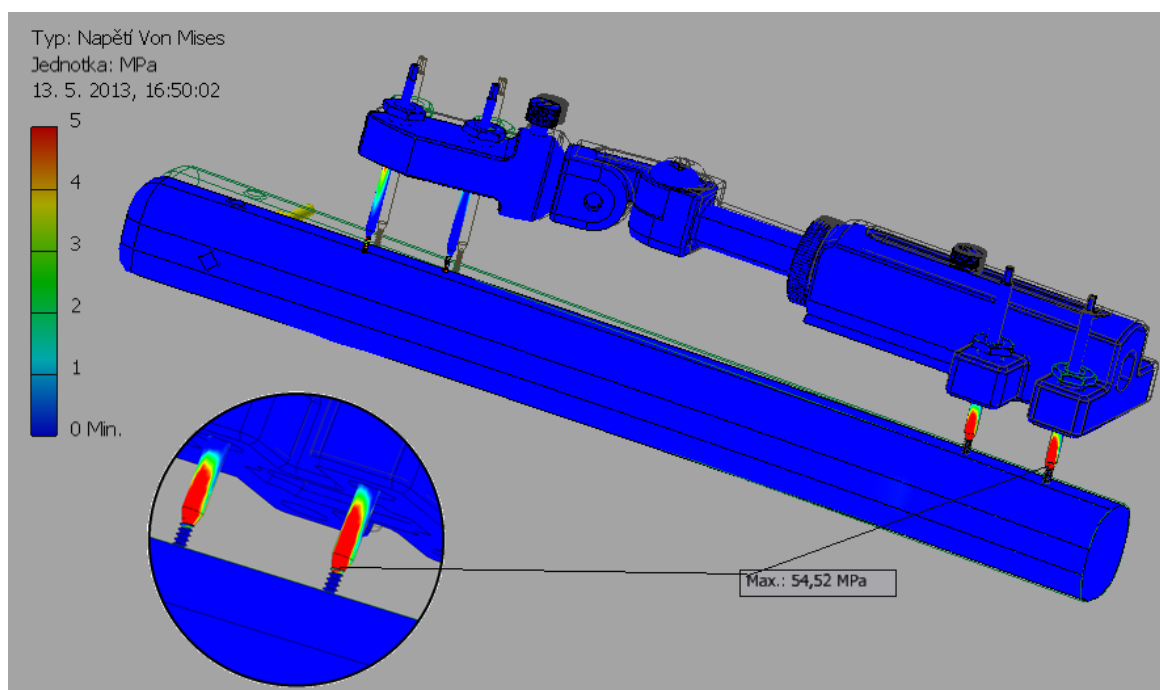
Uzly:682210  
Prvky:424461



Obr. 43. Náhl'ad siete

## 1. prípad:

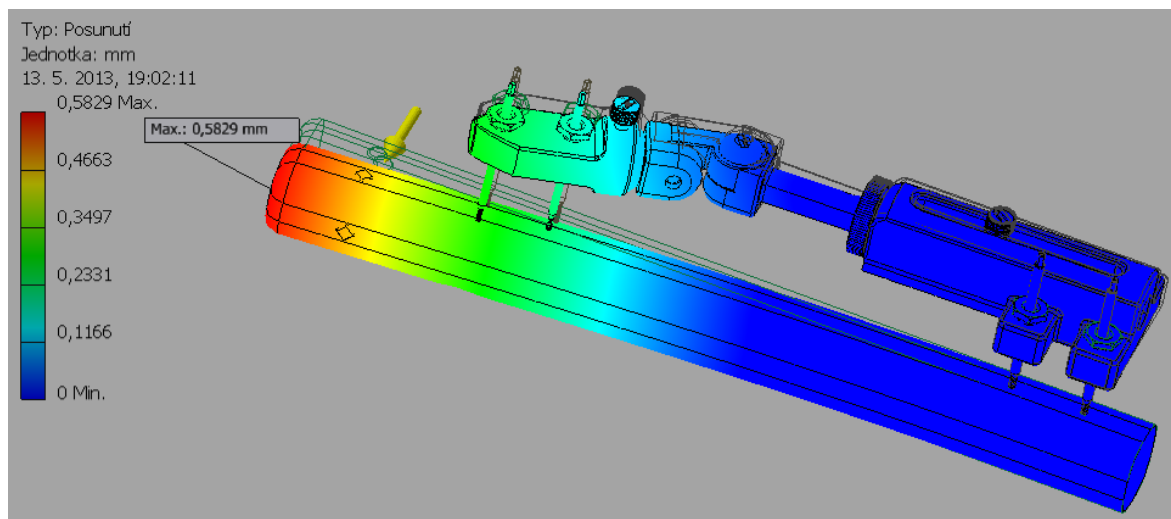
*Redukované napätie:*



Obr. 44. Redukované napätie – 1. Prípad

Na *Obr. 44* je možné vidieť miesto kde je najväčšie napätie. Toto napätie je na Kirschnerových drôtoch a jeho hodnota je 54,52 MPa, čo je prijateľná hodnota vzhľadom nato, že drôty sú vyrobené z pevnej nerezovej ocele alebo titánu a tomuto napätiu odolajú.

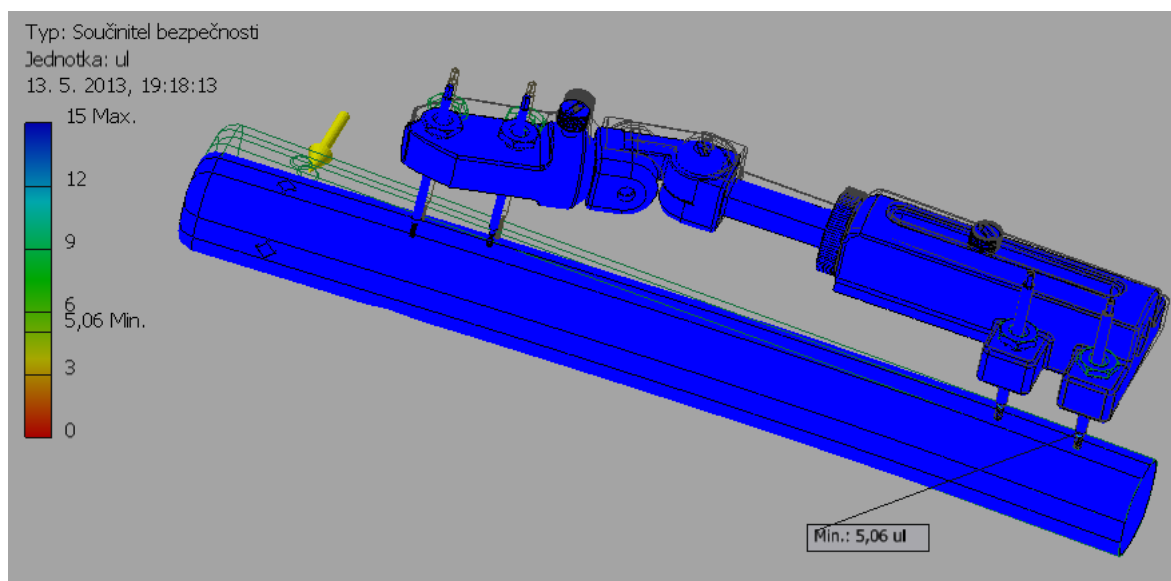
*Deformácie:*



Obr. 45. Posunutie – 1. Prípad

Na *Obr. 45* je možné vidieť miesto kde je najväčšie posunutie. Toto posunutie je na konci kosti a jeho hodnota je 0,5829 mm, čo je celkom prijateľná hodnota.

*Súčiniteľ bezpečnosti:*

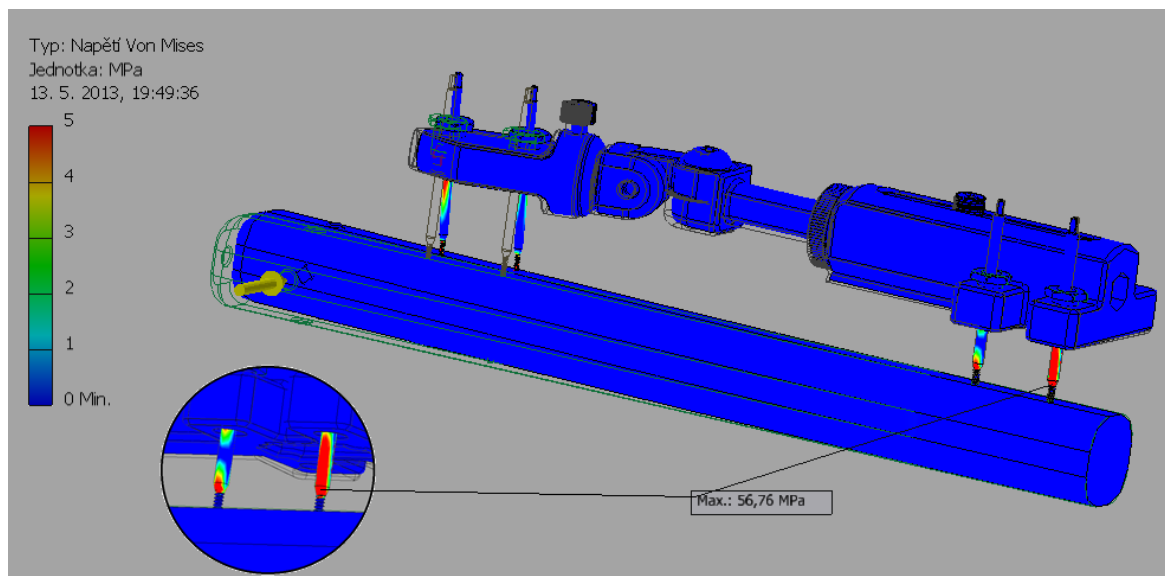


Obr. 46. Súčiniteľ bezpečnosti – 1. Prípad

Na *Obr. 46* je možné vidieť miesto kde je najmenší súčiniteľ bezpečnosti. Tento súčiniteľ bezpečnosti je na Kirschnerových drôtoch a jeho hodnota je 5,06 [-], čo je vyhovujúci výsledok.

## 2. prípad:

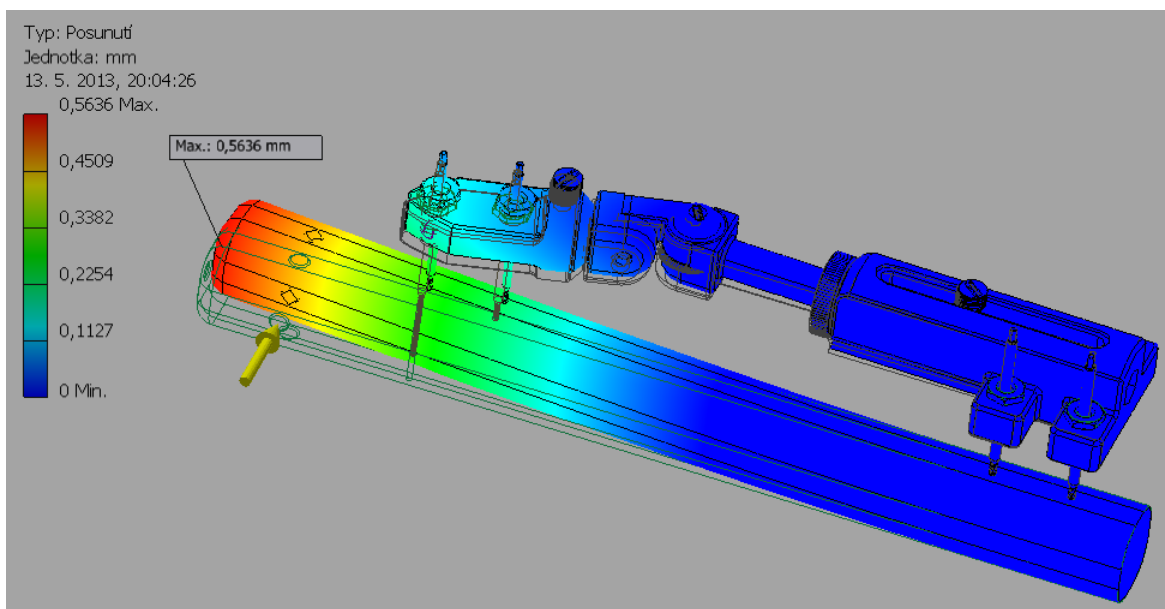
*Redukované napätie:*



Obr. 47. Redukované napätie – 2. Prípad

Na Obr. 47 je možné vidieť miesto kde je najväčšie napätie. Toto napätie je na Kirschnerových drôtoch a jeho hodnota je 56,76 MPa, čo je prijateľná hodnota vzhľadom nato, že drôty sú vyrobené z pevnej nerezovej ocele alebo titánu a tomuto napätiu odolávajú.

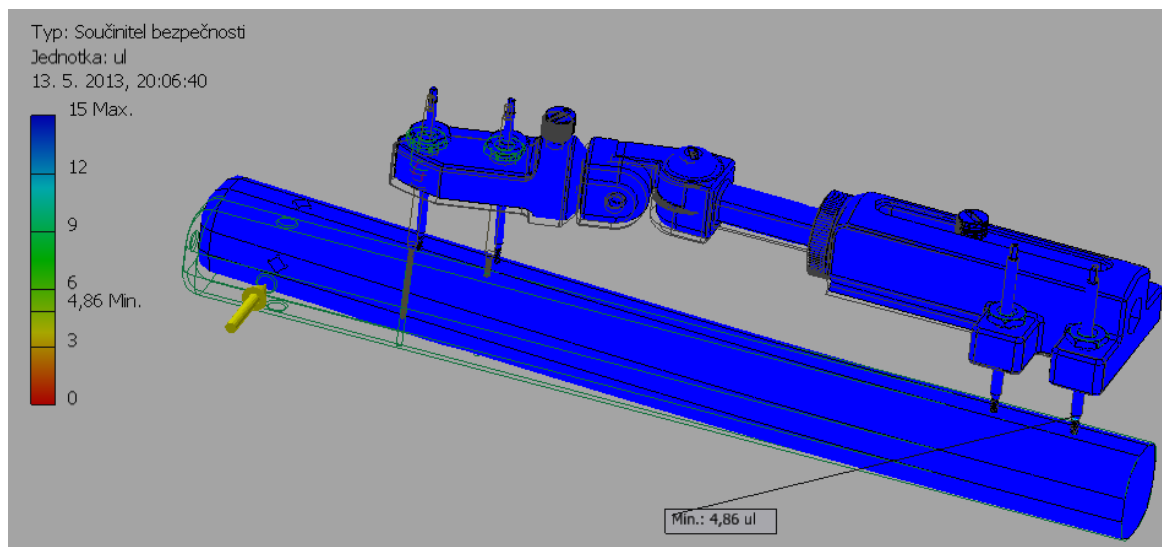
*Deformácie:*



Obr. 48. Posunutie – 2. Prípad

Na Obr. 48 je možné vidieť miesto kde je najväčšie posunutie. Toto posunutie je na konci kosti a jeho hodnota je 0,5636 mm, čo je celkom prijateľná hodnota.

### Súčiniteľ bezpečnosti:

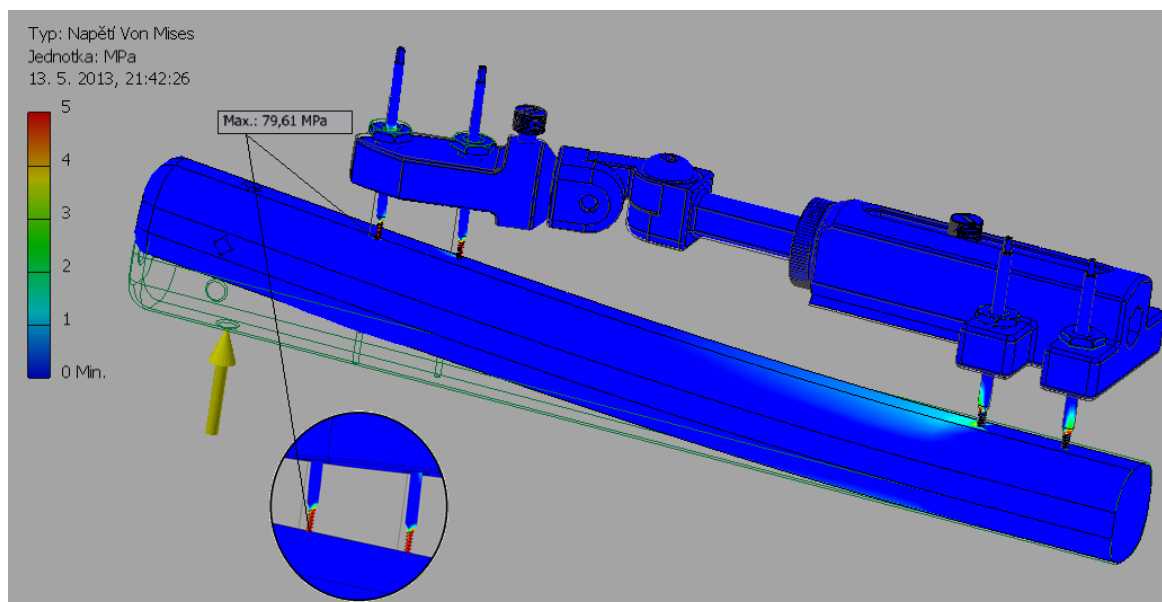


Obr. 49. Súčiniteľ bezpečnosti – 2. Prípad

Na *Obr. 49* je možné vidieť miesto kde je najmenší súčiniteľ bezpečnosti. Tento súčiniteľ bezpečnosti je na Kirschnerových drôtoch a jeho hodnota je 4,86 [-], čo je vyhovujúci výsledok.

### 3. prípad:

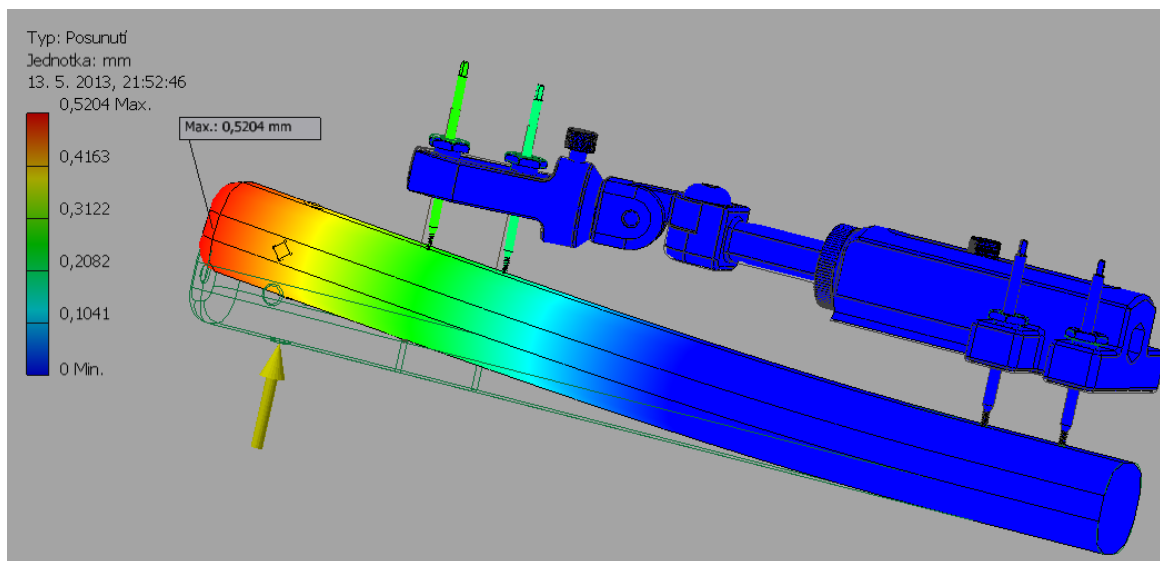
#### Redukované napätie:



Obr. 50. Redukované napätie – 3. Prípad

Na *Obr. 50* je možné vidieť miesto kde je najväčšie napätie. Toto napätie je na Kirschnerových drôtoch a jeho hodnota je 79,61 MPa, čo je prijateľná hodnota vzhľadom nato, že drôty sú vyrobené z pevnej nerezovej ocele alebo titánu a tomuto napätiu odolajú.

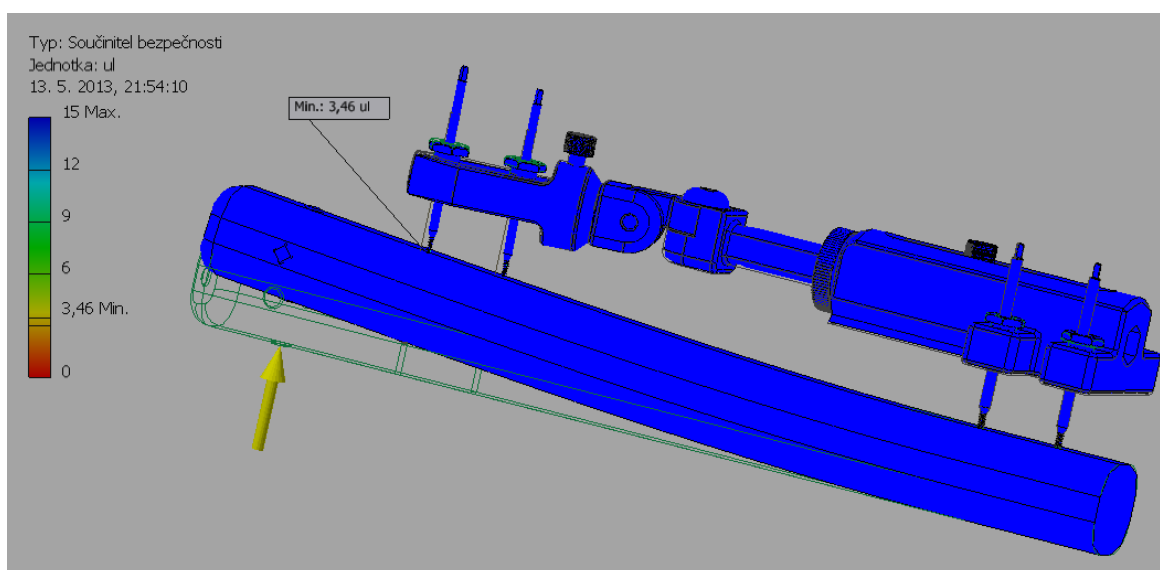
### Deformácie:



Obr. 51. Posunutie – 3. Prípad

Na *Obr. 51* je možné vidieť miesto kde je najväčšie posunutie. Toto posunutie je na konci kosti a jeho hodnota je 0,5204 mm, čo je celkom prijateľná hodnota.

### Súčiniteľ bezpečnosti:



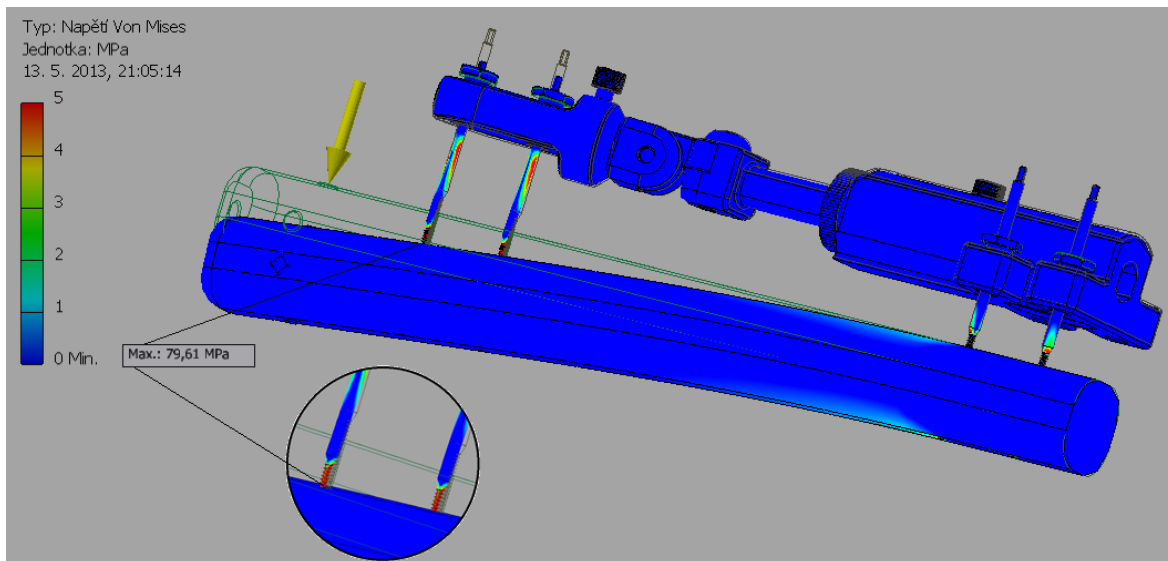
Obr. 52. Súčiniteľ bezpečnosti – 3. Prípad

Na *Obr. 52* je možné vidieť miesto kde je najmenší súčiniteľ bezpečnosti. Tento súčiniteľ bezpečnosti je na Kirschnerových drôtoch a jeho hodnota je 3,46 [-], čo je vyhovujúci výsledok.



#### 4. prípad:

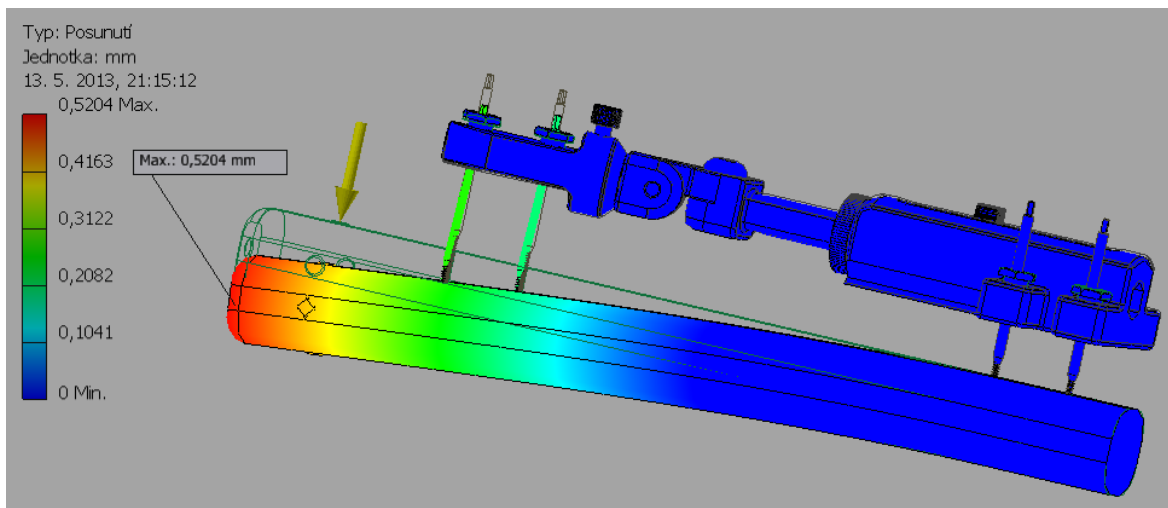
##### *Redukované napätie:*



Obr. 53. Redukované napätie – 4. Prípad

Na *Obr. 53* je možné vidieť miesto kde je najväčšie napätie. Toto napätie je na Kirschnerových drôtoch a jeho hodnota je 79,61 MPa, čo je prijateľná hodnota vzhľadom nato, že drôty sú vyrobené z pevnej nerezovej ocele alebo titánu a tomuto napätiu odolajú.

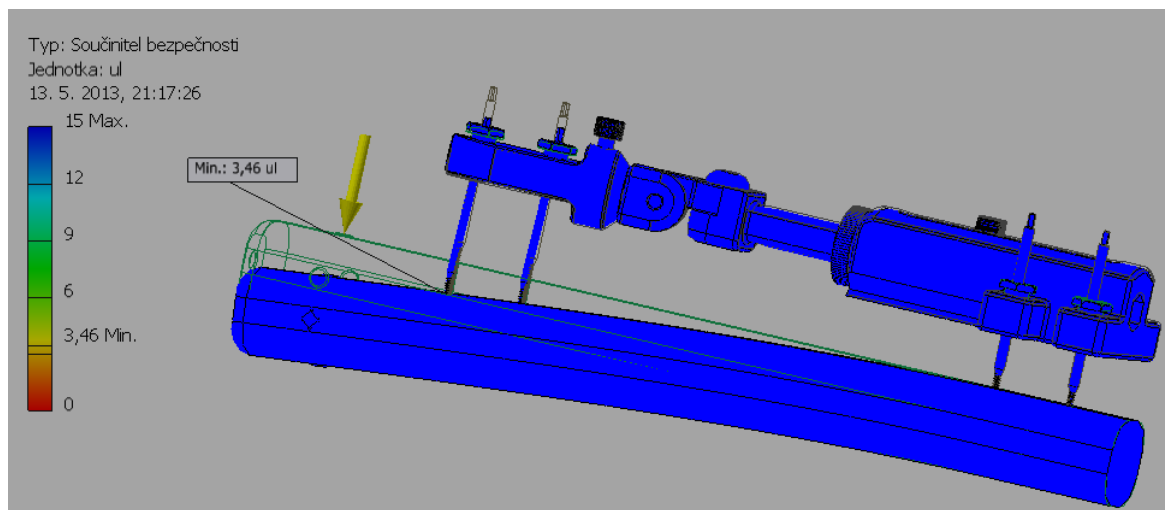
##### *Deformácie:*



Obr. 54. Posunutie – 4. Prípad

Na *Obr. 54* je možné vidieť miesto kde je najväčšie posunutie. Toto posunutie je na konci kosti a jeho hodnota je 0,5204 mm, čo je celkom prijateľná hodnota.

### Súčiniteľ bezpečnosti:



Obr. 55. Súčiniteľ bezpečnosti – 4. Prípad

Na *Obr. 55* je možné vidieť miesto kde je najmenší súčiniteľ bezpečnosti. Tento súčiniteľ bezpečnosti je na Kirschnerových drôtoch a jeho hodnota je 3,46 [-], čo je vyhovujúci výsledok.

### Zhrnutie výsledkov

Najväčšie napätie bolo pri zaťažení v smere osi Kirschnerových drôtov v 3. a 4. prípade, kde napätie dosahovalo hodnotu 80 MPa a posunutie 0,52 mm. Najviac zaťažované vo všetkých prípadoch sú Kirschnerové drôty. Tie sú však vyrobené z pevnej nerezovej ocele alebo titánu a danému zaťaženiu odolajú. Výsledky pevnostnej analýzy sa pohybovali v bezpečných hodnotách. Avšak vzhľadom k princípu MKV možno predpokladať, že toto napätie bude ešte nižšie.

## 7. ZÁVER

Bakalárska práca bola zameraná na konštrukčný návrh externého fixátoru zlomenín distálneho rádia. V priebehu riešenia bakalárskej práce som dostal do povedomia konštrukčné prevedenia fixátorov na českom i zahraničnom trhu a vyskúšal si, čo obnáša vývoj nových konštrukčných riešení v oblasti externých fixátorov. Pri realizácii potrebných pevnostných výpočtov som sa zdokonalil v programe Inventor, v 3D modelovaní a aj vo vykonávaní pevnostných analýz.

Úvodná časť bola venovaná základným konštrukčným prvkom externých fixátorov zlomenín distálneho rádia a na ich výrobcom. Bola konštrukčne navrhnutá varianta riešenia problémových častí fixátoru, ktorý je používaný v praxi firmy *Zimmer*<sup>TM</sup>. Navrhované prvky boli pevnostne overené a stanovený pre ne koeficient bezpečnosti. Bola vykonaná aj pevnostná analýza metódou MKP, ktorá taktiež vykazovala vyhovujúce výsledky.

Hlavným úskalím fixátoru zlomeniny distálneho rádia firmy *Zimmer*<sup>TM</sup> bola zlá manévrovateľnosť Kirschnerových drôtov s čím je spojená obtiažnosť trafenia predvrtaných dier v kosti pri umiestňovaní tela fixátoru na ruku pacienta. Z tohto dôvodu najväčšou prednosťou navrhovanej varianty je dobrá variabilita vďaka použitiu excentrickej guličky, ktorá drží Kirschnerové drôty a zároveň umožňuje ich naklápanie okolo zvislej osi a horizontálny posuv.

Neoddeliteľnou súčasťou návrhu bolo spracovanie výrobných dokumentácie vybranej súčasti a zostavy, ktoré sú prílohou bakalárskej práce. Možno skrátka povedať, že boli splnené ciele práce.

### Podakovanie

Tu by som rád poďakoval vedúcemu mojej diplomovej práce Ing. Oldřichovi Učeňovi, Ph.D. z katedry výrobných strojů a konstruování VŠB - TU Ostrava za konzultácie, podnety a rady v priebehu riešenia práce a svojej rodine za potrebnú psychickú podporu.

## 8. POUŽITÉ ZDROJE

- [1] *Www.wikipedia.org* [online]. 2012 [cit. 2012-12-03]. External fixation. Dostupné z WWW: <[http://en.wikipedia.org/wiki/External\\_fixation](http://en.wikipedia.org/wiki/External_fixation)>.
- [2] Synthes Global Internet: Operating procedures [online]. 2012 [cit. 2012-12-03]. Synthes.com. Dostupné z WWW: <<http://www.synthes.com/html/operatingprocedures.8237.0.html>>.
- [3] *Www.prospon.cz* [online]. 2012 [cit. 2012-12-18]. ProSpon spol.s.r.o. Dostupné z WWW: <<http://www.prospon.cz/index.php?module=produkty&lang>>.
- [4] *Www.synthes.com* [online]. 2012 [cit. 2012-12-18]. Synthes, Inc. Dostupné z WWW: <<http://www.synthes.com/sites/intl/Products/Trauma/Pages/Trauma.aspx>>.
- [5] *Www.orthofix.com* [online]. 2012 [cit. 2012-12-18]. Orthofix Holdings, Inc. Dostupné z WWW: <<http://us.orthofix.com/products/radiolucent.asp?cid=44>>.
- [6] *Www.stryker.com* [online]. 2013 [cit. 2013-03-09]. Stryker Orthopaedics. Dostupné z WWW: <<http://www.stryker.com/emea/Products/Trauma/UpperExtremityHand/HoffmannFamily/YellowMonotubeTriaxSystem/index.htm>>.
- [7] *Www.zimmer.com* [online]. 2013 [cit. 2013-03-09]. Zimmer, Inc. Dostupné z WWW: <<http://www.zimmer.com/z/ctl/op/global/action/1/id/9167/template/MP/prcat/M7/prod/y>>.
- [8] LEINVEBER, Ján a Pavol VÁVRA. Strojnické tabuľky. 3. vyd Úvaly: Albra, 2006. ISBN 80-7361-033-7.
- [9] KALÁB, Květoslav. Časti a mechanizmy strojov pre bakalára: Časti spojovací. Ostrava: VŠB-TUO, 2008. ISBN 978-80-248-1290-8.
- [10] *Www.ncbi.nlm.nih.gov* [online]. 2013 [cit. 2013-05-10]. Dostupné z WWW: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12415526>>.
- [11] Datasheets. Victrex [online]. Copyright © 2013 Victrex plc. [cit. 2013-05-10]. Dostupné z: <<http://www.victrex.com/en/victrex-library/datasheets/datasheets.php>>.

## **ZOZNAM PRÍLOH**

Výkres A      Zostava fixátoru – SRA0016-01

Výkres B      Priečhodná skrutka – SRA0016-02